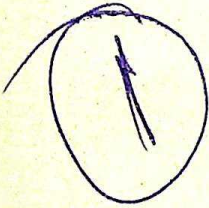
विद्युत इंजीनियरी

[ELECTRICAL ENGINEERING]

लेखक
फ्रेड् एच० पम्फ्रे

प्रकाशक
ओरियन्ट लौंगमन्स

एकमात्र वितरक
स्टेन्डर्ड बुक डिपो : दिल्ली

विद्युत्-इंजीनियरी

आधारभूत सिद्धांत एवं प्रारूपिक प्रयुक्तियाँ

विद्युत् इंजीनियरी

आधारभूत सिद्धान्त एवं प्रारूपिक प्रयुक्तियाँ

[ELECTRICAL ENGINEERING]

(Essential Theory & Typical Applications)

Vidyut Engineri

मूल लेखक

फ्रेड् एच. पम्फ्रे

F. M. Pumphrey

अनुवादक

रामकुमार गर्ग

बी. एस-सी., बी. ई., ए. एम. आई. ई.

विद्युत् इंजीनियरी के सहायक प्राध्यापक

बिहार इंस्टीट्यूट ऑफ टेकनालोजी

सिन्द्री

तथा

जगमोहनलाल गर्ग

बी. एस-सी. (ऑनर्स), डी. आई., आई. एस. सी.

विद्युत् इंजीनियरी के सहायक प्राध्यापक

बिहार इंस्टीट्यूट ऑफ टेकनालोजी

सिन्द्री

957

ओरियन्ट लौंगमन्स

बम्बई कलकत्ता नई दिल्ली मद्रास

ओरियन्ट लौंगमन्स प्राइवेट लिमिटेड

१७ चित्तरंजन एवेन्यू, कलकत्ता १३
निकोल रोड, बैलार्ड एस्टेट, बम्बई १
३६ए माउंट रोड, मद्रास २
२४।१ कैन्सन हाउस, आसफ अली रोड, नई दिल्ली
मेन गनफाउंड्री रोड, हैदराबाद
१७ नाजिमुद्दीन रोड, ढाका

लौंगमन्स, ग्रीन एण्ड कम्पनी लिमिटेड

६ और ७ क्लिफर्ड स्ट्रीट, लंदन डब्ल्यू १
तथा
न्यूयार्क, टोरोन्टो, केप टाउन, एवं मेलबोर्न

प्रथम संस्करण दिसम्बर १९५७

मूल्य १६ रुपये

मुद्रक : ज्ञानेन्द्र शर्मा, जनवाणी प्रिण्टर्स एण्ड पब्लिशर्स प्राइवेट लि०, ३६ वाराणसी घोष स्ट्रीट, कलकत्ता ७

प्राक्कथन

अपने कुछ वर्षों के अनुभव के आधार पर, मैं इस निष्कर्ष पर पहुँचा हूँ, कि आजकल इंजीनियरी के विद्यार्थियों को सबसे अधिक कठिनाई अंगरेजी भाषा के अल्प ज्ञान के कारण उठानी पड़ती है। एक ओर तो प्राथमिक एवं माध्यमिक पाठ्य-क्रमों से अंगरेज़ी का शिक्षण हटाया जा रहा है ; परन्तु दूसरी ओर, इंजीनियरी तथा दूसरे टेक्निकल पाठ्य-क्रमों में कोई निर्धारित नीति नहीं अपनायी गई है। परिणाम-स्वरूप, इंजीनियरी में प्रवेश पाने वाला विद्यार्थी, अंगरेज़ी भाषा के ज्ञान में इतना दक्ष नहीं होता, कि वह इंजीनियरी की पुस्तकों को और अपने प्राध्यापकों को ठीक प्रकार से समझ सके। इंजीनियरी डिप्लोमा के विद्यार्थियों के लिये तो, यह कठिनाई, एक वास्तविक समस्या बन गई है। इसका उपयुक्त समाधान यही हो सकता है, कि धीरे-धीरे इंजीनियरी पाठ्य-क्रम में भी हिन्दी माध्यम का प्रयोग करने का प्रयास किया जाय ; जिससे कि विद्यार्थी, कम से कम, इंजीनियरी के आधारभूत सिद्धान्तों को अपनी राष्ट्रभाषा के माध्यम द्वारा ही समझ सकें।

इस प्रकार यह आवश्यक हो जाता है, कि पहले, इंजीनियरी की कुछ अच्छी अंगरेज़ी पुस्तकों का हिन्दी में अनुवाद किया जाय ; और आधारभूत सिद्धान्तों को प्रस्तुत करने वाली पुस्तकें, हिन्दी में लिखी जाएँ। इस दृष्टिकोण से, यह पुस्तक जो विद्युत इंजीनियरी के क्षेत्र में पहला सफल प्रयास है, हर प्रकार से सराहनीय है। मैं लेखकों की हिन्दी अनुवाद की नीति का पूर्णतया समर्थन करता हूँ ; और मुझे हर्ष है, कि उन्होंने भी भाषा को केवल समझने एवं व्यक्त करने का सरलतम माध्यम ही माना है, और भावना की अपेक्षा उपयोगिता पर ही अधिक महत्व दिया है। उन शब्दों को, जो एक प्रकार से अन्तर्भाषीय हैं, उसी रूप में अपनाया गया है। इससे सभी भाषाओं में एकरूपता तथा सामंजस्य स्थापित होता है, जो विज्ञान एवं इंजीनियरी की प्रगति के लिये बहुत आवश्यक है। मुझे आशा है, कि हमारी सरकार भी, इंजीनियरी के क्षेत्र में, इसी नीति का समर्थन करेगी ; और इसी आधार पर, इंजीनियरी शब्दों के अनुवाद को मान्यता देकर, हिन्दी के क्षेत्र को विकसित करेगी।

मैं श्री फ्रेड० एच० पम्फ्रे तथा श्री रामकुमार गर्ग दोनों ही के पर्याप्त सम्पर्क में रहा हूँ; और इस पुस्तक की विशेषताओं से भली-भाँति परिचित हूँ। मुझे पूर्ण विश्वास है, कि यह पुस्तक, हिन्दी में दूसरी पुस्तकों के लिये एक उत्कृष्ट उदाहरण प्रस्तुत करेगी और सभी इंजीनियर विद्यार्थियों के लिये, विद्युत इंजीनियरी के आधारभूत सिद्धान्तों को ठीक प्रकार से समझाने में सहायक होगी।

डी० एल० देशपाँडे,
एम० एस० सी० (इंजी०), एम० आई० ई०,
एम० आई० मेक० ई०, एम० आई० पी० ई०
संचालक, टेक्निकल शिक्षा, बिहार
तथा
संचालक, बिहार इंस्टीट्यूट ऑफ टेकनालोजी, सिन्द्री

अनुवादक की प्रस्तावना

आधुनिक परिस्थितियों में, इंजीनियरी की शिक्षा प्राप्त करने वाले विद्यार्थियों की सबसे पहली कठिनाई, उनके भाषा के ज्ञान की है। वस्तुतः, यह एक ऐसी समस्या बन गई है; जिसका समाधान निश्चित रूप से समझा नहीं जा सका है। यह निश्चित है, कि राष्ट्र की प्रगति, राष्ट्रभाषा के आधार पर ही उचित तथा उपयुक्त रूप से हो सकती है। विज्ञान तथा इंजीनियरी के प्रशिक्षण के लिये भी हमें, अन्ततः, राष्ट्रभाषा का ही आश्रय लेना होगा। परन्तु इसका यह तात्पर्य नहीं है, कि हम सभी कुछ इस प्रकार बदल डालें, कि समस्या सुलझने के स्थान पर और उलझ जाये। विशेषतया, विज्ञान तथा इंजीनियरी के लिये हम वही नीति नहीं अपना सकते, जो दूसरे विषयों के लिये कर सकते हैं। इनमें बहुत से शब्द ऐसे हैं, जो लगभग सभी भाषाओं में समान हैं; अर्थात् वे एक तरह से अन्तर्भाषीय हो गये हैं। उनको उसी रूप में अपनाने में हमें हिचक नहीं होनी चाहिये। भाषा, भावों को व्यक्त करने का साधन है। इसमें भावना का समावेश करना उचित नहीं। भाषा को, समझने और समझाने का सरलतम माध्यम बनाना आवश्यक है; और इसके लिये हमें राष्ट्रभाषा को उसी दिशा में विकसित करना होगा।

आजकल, एक ओर तो, अंग्रेजी भाषा के शिक्षण को प्राथमिक एवं मध्यम क्रमों से धीरे-धीरे हटाया जा रहा है, परन्तु साथ ही साथ इंजीनियरी प्रशिक्षण के लिये, नीति में कोई परिवर्तन नहीं किया गया है। परिणामस्वरूप, इंजीनियरी में प्रवेश पानेवाले विद्यार्थी, अंग्रेजी भाषा के ज्ञान में इतने प्रवीण नहीं होते; कि वे इंजीनियरी की पुस्तकों को, अथवा प्राध्यापकों को, ठीक प्रकार से समझ सकें। यह कठिनाई, एक वास्तविक तथ्य है; और यह निरंतर बढ़ती ही जा रही है। इसके लिये यही संभव है, कि धीरे-धीरे, इंजीनियरी के आधारभूत सिद्धान्तों को भी, राष्ट्रभाषा के माध्यम द्वारा ही समझाया जाय। उच्च अध्ययन के लिये अभी कुछ साल तक अंग्रेजी का ही आश्रय लेना होगा; जैसा कि अभी भी कुछ विशिष्ट अध्ययन के लिये, जर्मन, फ्रेंच आदि भाषाओं का अध्ययन आवश्यक हो जाता है। परन्तु वह क्रम धीरे-धीरे अवश्य लाना होगा, जब कि प्राथमिक समस्याएं हिन्दी में ही समझी जा सकेंगी। निस्संदेह, इंजीनियर विद्यार्थी के लिये, अंग्रेजी भाषा का ज्ञान अवश्यतः रहना चाहिये, और यह उनकी प्रवेश योग्यता का आवश्यक अंग होना चाहिये।

इस उद्देश्य को लेकर, प्रोफेसर पम्फे की पुस्तक : Electrical Engineering : Essential Theory and Practice का यह हिन्दी रूपान्तर प्रस्तुत किया जा रहा है जिससे कि विद्युत इंजीनियरी की आधारभूत समस्याओं को समझने में, भाषा के कारण, कोई कठिनाई न उठानी पड़े। इसमें, उनका विश्लेषण अत्यन्त सरल एवं रोचक ढंग से किया गया है ; और साथ ही साथ, आधुनिकतम वैद्युतिक प्रयुक्तियों पर भी प्रकाश डाला गया है।

यह पुस्तक, वस्तुतः, इंजीनियरी डिप्लोमा के विद्यार्थियों के लिये लिखी गई है। खास विद्युत इंजीनियरी के विद्यार्थियों के लिये, यह अपर्याप्त होगी। परन्तु दूसरी शाखाओं के विद्यार्थियों को, विद्युत इंजीनियरी के विषय में, यह पर्याप्त जानकारी दे सकेगी। विशेषतया, बाद के अध्याय :—प्रभासन, विद्युत मोटर प्रयुक्तियाँ, तन्तुकन तन्त्र, विद्युत मापन विधियाँ इत्यादि, बहुत ही उपयोगी सिद्ध होंगे।

अनुवाद में कुछ स्वतन्त्रता बर्ती गई है, जो ऐसी पुस्तक के लिये बहुत ही आवश्यक है। कुछ स्थानों पर जहाँ मूल पुस्तक में केवल अमरीकन व्यवहार ही दिया गया है और हमारे देश का वास्तविक व्यवहार वहाँ से भिन्न है, वहाँ उसे स्पष्टतया देशित कर दिया गया है। यथासंभव, यह ध्यान रक्खा गया है, कि ऐसे कठिन शब्द न प्रयोग किये जायँ, जिनको हिन्दी में समझने के लिये एक शब्दकोष की आवश्यकता हो, अथवा वे अंग्रेजी माध्यम के द्वारा ही समझे जा सकें। वस्तुतः, भावना को महत्व न देकर, उपयोगिता को ही महत्व दिया गया है।

रामकुमार गर्ग

विषय सूची

पहला अध्याय

अव्यवहित धारा परिपथ

(DIRECT CURRENT CIRCUITS)

पदार्थ एवं विद्युत् की प्रकृति

सारा पदार्थ परमाणुओं से बना हुआ समझा जाता है। प्रत्येक परमाणु में सापेक्षतया अधिक मात्रा वाला एक धन-आवेशित-केन्द्र (Positively Charged Nucleus) होता है जो ऋण आवेशित इलेक्ट्रॉनों (Negatively Charged Electrons) से घिरा होता है। ये इलेक्ट्रॉन, केन्द्र के चारों ओर उसी प्रकार घूमते हैं, जैसे ग्रह सूर्य के चारों ओर घूमते हैं। कुछ परमाणुओं में, बाहरी काक्षियक (Orbital) इलेक्ट्रॉनों की स्थिति-रचना (Pattern) में रिक्ति होती है, जब कि दूसरों में, एक या दो इलेक्ट्रॉन सामान्यतः स्थायी पुंज के बाहर होते हैं। जब ऐसे भिन्न-भिन्न प्रकार के अणु एक दूसरे के निकट संयवित होते हैं, तो एक प्रकार के अणुओं के इलेक्ट्रॉनों की प्रवृत्ति दूसरे प्रकार के अणुओं के रिक्त स्थान में भर जाने की होती है। इस प्रकार केन्द्र इन इलेक्ट्रॉनों में साझा करके स्थायी मिश्र के अणु बनाते हैं। परमाणु केवल दूसरे प्रकार के परमाणुओं के साथ मिलकर ही अणु नहीं बनाते, वरन् अपने ही प्रकार के परमाणुओं के साथ मिलकर भी इलेक्ट्रॉनों में साझा करते हैं; और इस प्रकार एक रैखिकीय आकार (Geometric Pattern) में गुँथ जाते हैं जिन्हें स्फट (Crystal) कहते हैं। (अणु भी इस प्रकार स्फटों की रचना कर सकते हैं)। इस प्रकार के स्फटों में, सामान्यतः, बहुत अधिक संख्या में परमाणु एवं अणु अन्तर्हित होते हैं। बंधन के मज़बूत होने के कारण, वे सदैव ठोस वस्तुओं से ही संबधित होते हैं। साधारणतया, धातुओं के बाहरी काक्षियक समूह (Outer Orbital Group) में केवल एक या दो इलेक्ट्रॉन ही होते हैं। इसलिये जब ये स्फट बन जाते हैं तब बाहरी इलेक्ट्रॉनों का, और पैतृक केन्द्र का बंधन इतना ढीला हो जाता है, कि उनके लिये एक केन्द्र से दूसरे को चला जाना और इस प्रकार धातु के अन्दर प्रसारित होना नितान्त सरल हो जाता है। जब इस प्रकार की धातुएें तार के रूप में बना दी जाती हैं, तब उन्हें विद्युत् संवाहकों की भाँति प्रयोग किया जा सकता है।

बहुत से ठोस पदार्थों में (और द्रवों में भी) इलेक्ट्रॉनों पर बंधन इतना दृढ़ होता है, कि उनका इस प्रकार परिचलन कठिन होता है। ऐसे पदार्थ **विसंवाहक** (Insulators) कहलाते हैं। ठोस पदार्थों की संवाहन योग्यता में पर्याप्त अन्तर होता है। परन्तु विद्युत् को उत्पादन की समस्याओं में प्रयोग करने

के लिये, इंजीनियर को मुख्यतया उन वस्तुओं की जानकारी की अभिरुचि होती है जो अच्छे संवाहक (Conductor) और अच्छे विसंवाहक हों। जब ऐसे पदार्थ प्रयोग किये जाते हैं तब इलेक्ट्रॉनों के परिचलन पर नियंत्रण संभव हो सकता है जिससे कि ऐच्छिक परिणाम निष्पादित हो सकें।

इलेक्ट्रॉनों को, एक विद्युत क्षेत्र के द्वारा, जिसे कभी-कभी **विद्युत्-दवाब प्रावण्य** (Electric Pressure Gradient) अथवा **शक्मान्तर** (Difference of Potential) भी कहते हैं, एक संवाहक में परिचलित कराया जाता है। इस परिचलन का परिमाण अथवा इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह, इस शक्मान्तर और संवाहक के अनुप्रस्थ-छेदीय-क्षेत्र (Cross-sectional Area) पर निर्भर करता है। प्रवाह को विशेष इकाई में नापा जाता है, और इसी प्रकार दवाव तथा प्रवाह के विरोध को भी। अव्यवहित धारा परिपथ के वास्तविक अध्ययन से पहले, इन इकाइयों की परिभाषा करना आवश्यक है।

अम्पीयर (Ampere) : विद्युत प्रवाह की इकाई को अम्पीयर कहते हैं। भौतिक विज्ञान की बहुत सी पुस्तकें, विद्युत् धारा के प्रवाह को चुम्बकीय प्रभाव के आधार पर, बहुत अच्छी प्रकार परिभाषित करती हैं, जिससे विद्युत् और चुम्बकीय इकाइयों में संतोषजनक सम्बन्ध प्राप्त हो सके। क्योंकि चुम्बकीय प्रभाव, उच्च परिशुद्धता के साथ नापे जाने कठिन होते हैं, इसलिये तत्सम्बन्धी विद्युत्-रासायन (Electro-chemical) प्रभाव को ही विद्युत् धारा के आमाप का व्यवहारिक आधार माना गया है। इस प्रकार, **एक अम्पीयर को उस अव्यवहित विद्युत् धारा से निर्धारित किया गया है, जो एक विद्युदंश** (Electrolyte) **से** 0·00118 **ग्राम प्रति सेकेंड की दर से रजत** (Silver) **रोपण** (Deposit) **कर सके।**

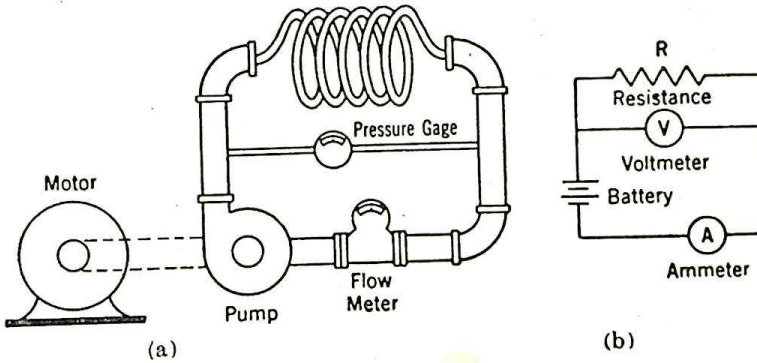
सामान्य विद्युत् प्रयुक्तियों द्वारा ली गई विद्युत धारा का मान (120 वोल्ट पर) लगभग निम्नलिखित होता है :

100-w दीप (lamp)	.. ..	0·9 अम्प०
600-w तापक (toaster)	.. ..	5·0 अम्प०
$\frac{1}{4}$ अश्व शक्ति मोटर	.. ..	3·7 अम्प०

कूलम्ब (Coulomb) : विद्युत् परिमाण [अथवा प्रभार (Charge)] की इकाई को कूलम्ब कहते हैं। **यह वह प्रभार है, जो एक अम्पीयर धारा के प्रवाहित होने पर परिपथ में, एक दिये हुए बिन्दु से, प्रति सेकेंड पारित होगा।** जैसा कि ऊपर देशित किया गया है, विद्युत् प्रवाह इलेक्ट्रॉनों और अयनों (Ions) के परिचलन से होता है। एक अम्पीयर धारा उत्पन्न करने के लिये प्रति सेकंड लगभग 6,300,000,000,000,000,000 ($6{\cdot}3 \times 10^{18}$) इलेक्ट्रॉनों के परिचलन की आवश्यकता होगी। यह प्रभार की बहुत बड़ी इकाई है, और सरल गणना में शायद ही कभी प्रयोग की जाती है।

कूलम्ब के परिमाण का कुछ अनुमान इससे भी लगाया जा सकता है, कि एक दूसरे से एक फुट की दूरी पर रक्खे हुए दो प्रभार, आपस में 1 पौंड की आकर्षक शक्ति का अनुभव करेंगे।

ओम (Ohm) : विद्युत् प्रवाह में रोध की इकाई को ओम कहते हैं। इसको **1 अम्पीयर धारा प्रवाहित होने पर, प्रति सेकेंड 1 जूल** (Joule) **ताप उत्पन्न करने वाले** रोध से परिभाषित किया जा सकता है। क्योंकि इसका भी माप अथवा प्रमाप (Standardization) कठिन होता है; इसलिये इसे 0°C तापमान पर, पारे के एकसम अनुप्रस्थ-छेद (Cross-section) के 106·3 सेंटीमीटर लम्बे और 14·45 ग्राम भार वाले, स्तंभ के रोध द्वारा निर्धारित किया जाता है। इस प्रकार निर्देशित अनुप्रस्थ-छेद का परिमाण लगभग 1 वर्ग मिलीमीटर होता है।

वोल्ट (Volt) : विद्युत् दबाव अथवा शक्मान्तर की इकाई वोल्ट है। **वोल्ट, वह शक्मान्तर है, जो एक ओम के रोध** (Resistance) **में एक अम्पीयर धारा प्रवाहित कर सके।** एक शुष्क-कोशा (Dry-cell) का शक्मान्तर लगभग 1·5 वोल्ट होता है। एक तीन कोशा वाली संग्रह समूहा (Storage Battery) का शक्म 6·6 वोल्ट, तथा सामान्य घरेलू विद्युत् परिपथ का शक्मान्तर 220 वोल्ट होता है।

दबाव (पौं०/इं^{2})	प्रवाह (गै०/मि०)	दबाव / प्रवाह	वैद्युत दबाव (वोल्ट)	वैद्युत प्रवाह (अम्पीयर)	वोल्ट / अम्पीयर
20	1.6	12.5	8.0	0.92	8.7
35	2.3	12.5	12.0	1.36	8.7
75	6.0	12.5	16.8	1.93	8.7
100	8.0	12.5	22.4	2.57	8.7
150	12.0	12.5	47.0	5.40	8.7

चित्र 1-1 : **आम्भसी** (Hydraulic) **तथा विद्युत परिपथों में सादृश्य**

ओम का नियम (Ohm's Law)

विद्युत परिपथों को अच्छी प्रकार समझने के लिये द्रव सादृश्य (Fluid Analogy) का उल्लेख किया जायगा। चित्र 1-1 में एक मोटर चालित (Motor-driven) पम्प दिखाया गया है। यह पम्प ताँबे की छोटी नली वाले एक शीतन-कुंडल (Cooling Coil) में तैल* का परिवहण करता है। कुंडल के दोनों ओर दबाव का अन्तर मापने के लिये, ताँबे की नली के सिरों पर एक गेज (Gauge) युजित है; तथा नली में से तैल के प्रवाह की दर को मापने के लिये नाड में एक प्रवाह-मीटर लगा हुआ है। यदि पम्प के वेग को बदला जाय और प्रत्येक पम्प वेग पर दबाव गेज (Pressure Gauge) तथा प्रवाह मीटर (Flow Meter) के पाठ्यांक लिये जाँय; तो एक न्यास-कुलक (Set of Data) प्राप्त होगा, जैसा तालिका 1-1 में दिखाया गया है। प्रत्येक पम्प वेग पर दबाव को प्रवाह से भाग देने पर वही परिणाम मिलता है। इस दशा में यह मान 12·5 है। इस प्रकार 12·5 से भाग देने पर किसी भी दबाव पर प्रवाह निकाला जा सकता है। यदि परीक्षा किये हुए दबावों के अतिरिक्त, किसी अन्य दबाव पर प्रवाह ज्ञात करना हो, तो वह भी दबाव को 12·5 से भाग देने पर प्राप्त हो सकेगा।

उदाहरण : 50 पौंड प्रति वर्ग इंच दबाव पर प्रवाह क्या होगा?

उपर्युक्त सम्बन्ध के आधार पर,

$$\text{प्रवाह} = \frac{\text{दबाव}}{12 \cdot 5} = \frac{50}{12 \cdot 5} = 4 \text{ गैलन प्रति मिनट}$$

स्थिरांक (Constant) 12·5, इस विशिष्ठ आकार और लम्बाई की नली का एक लक्षण है और इसलिये इसे नली के कुंडल का रोध कहा जा सकता है।

इस सरल आम्भसी परिपथ के दाहिनी ओर वैसा ही एक विद्युत परिपथ दिखाया गया है। एक समूहा (Battery) विद्युत दबाव अथवा शक्मान्तर को प्रदाय करती है, जो ताँबे के तार के कुंडल में से एक विद्युत् धारा प्रवाहित करता है। इस कुंडल को चित्र में R से निरूपित किया गया है। विद्युत शक्म को वोल्ट में मापने वाला मीटर **वोल्टमीटर** (Voltmeter) कहलाता है। धारा को अम्पीयर में मापने के लिये प्रयोग होने वाला मीटर **अम्मीटर** (Ammeter) कहलाता है। यदि समूहा पर निसूत्रक (Taps) विन्यसित (Arranged) कर दिये जाँय, जिससे कि कुंडल पर विविध वोल्टता आरोपित की जा सके; तो वोल्ट और उसके तत्सम्बन्धी अम्पीयर के पाठ्यांको का कुलक बनाया जा

---

* पानी के स्थान पर तैल का प्रयोग इसलिये किया जाता है, क्योंकि इसकी श्यानता अधिक होती है, और यह आम्भसी परिपथों के ओम नियम का पालन करता है।

सकता है। ये पाठ्यांक आम्भसी परिपथ के दबाव एवं प्रवाह के पाठ्यांको से तुलनीय होंगे। विद्युत परिपथ में, वोल्टमीटर के पाठ्यांक को अम्मीटर के पाठ्यांक से भाग देने पर सदैव 8·7 ही मिलेगा ; और यह स्थिरांक, **रोध** (Resistance) कहलाता है। इस सादृश्य से यह ज्ञात होता है, कि एक स्थिर रोध के विद्युत् परिपथ में किसी भी दी हुई वोल्टता पर धारा प्रवाह का पूर्वानुमान संभव है। दृष्टान्त के लिये, यदि 65 वोल्ट के तत्सम्बन्धी धारा का मान ज्ञात करना हो, तो

$$I=\frac{E}{8\cdot7}=\frac{65}{8\cdot7}=7\cdot5 \text{ अम्प०}$$

जब कि E वोल्ट में है।

8·7 का यह मान, तार का एक लक्षण (Characteristic) है; और रोध कहलाता है। इसको, पूर्व परिभाषित, ओम की इकाई से मापा जाता है। उपर्युक्त संबंध को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$\textbf{धारा} \text{ (अम्पीयर में)} = \frac{\text{शक्मान्तर (वोल्ट में)}}{\text{रोध (ओम में)}}$$

इस कथन को **ओम का नियम** कहते हैं और यह, विद्युत परिपथ सिद्धान्त के बहुत बड़े भाग का आधार है। गणितानुसार इसको निम्नलिखित तीन रूपों में व्यक्त किया जा सकता है :

$$I=\frac{E}{R}\ ;\ \ R=\frac{E}{I}\ ;\ \ E=RI$$

जहाँ I=धारा (अम्पीयर में) ; E=शक्मान्तर (वोल्ट में) और R=रोध (ओम) में है।

इस समय चेतावनी का एक शब्द कहना उचित होगा ; क्योंकि यद्यपि विद्युत परिपथों के बर्ताव का यह सामान्य नियम है, तथापि इसके बहुत से अपवाद भी हैं। असामान्य बर्ताव की बहुत सी ऐसी अवस्थायें मुख्य वाणिज्यिक सज्जाओं के प्रवर्तन की आधार हैं।

अभ्यास 1-1 : एक सांधिक लौह (Soldering Iron), 220 वोल्ट के परिपथ से 2·5 अम्प० धारा लेता है। उसका रोध निकालिये ?

अभ्यास 1-2 : एक विद्युत चूल्हे का रोध १४ ओम है। 220 वोल्ट परिपथ से युजित होने पर यह कितनी धारा लेगा ?

विद्युत्-शक्ति (Electric Power)

रोध वाले संवाहक में से, धारा का गमन सदैव ही ताप से संयवित होता है। परिपथ में धारा, वोल्टता और रोध का सम्बन्ध, तथा विद्युत ऊर्जा का ताप में परिवर्तन, विद्युत परिपथों के अध्ययन के मुख्य अंशक हैं।

चित्र 1-1 में दिखाये गए आम्भसी परिपथ का फिर से उल्लेख करते हुए यह ज्ञात होता है कि एकसम (Constant) प्रवाह के लिए, दबाव को दुगना कर देने पर, पम्प द्वारा परिपथ को दी गई ऊर्जा की दर भी दुगनी हो जायगी। दबाव को समान रखकर, प्रवाह को दुगना कर देने से भी यह दुगनी हो जायगी। विद्युत परिपथ में भी, ठीक इसी प्रकार शक्ति का घटाव बढ़ाव होता है। रोध में, ऊर्जा के ताप में परिवर्तित होने की दर अथवा शक्ति को, धारा एवं वोल्टता के गुणन के समानुपात में कहा जा सकता है। गणितानुसार व्यक्त करने पर :

$$P = EI$$

जहाँ P को वाट में, E को वोल्ट में और I को अम्प० में व्यक्त किया गया है। इस कथन को 'वाट' की परिभाषा करने में प्रयोग किया जा सकता है। **1 वोल्ट शक्मान्तर पर एक अम्प० धारा के बहने से प्रदत्त की जाने वाली विद्युत् ऊर्जा की दर को 'वाट' कहते हैं।**

ओम नियम के उपयोग से, उपर्युक्त कथन से शक्ति के बहुत से अन्य समीकार प्राप्त किये जा सकते हैं। जब प्रदत्त सूचना वोल्ट अम्पीयर में न दी गई हो, तब ये समीकार बहुत उपयोगी होते हैं। ये निम्नलिखित हैं :

$$P = E \times I = IR \times I = I^2R \qquad (\text{क्योंकि } E = IR)$$

$$P = E \times I = E \times \frac{E}{R} = \frac{E^2}{R} \qquad \left(\text{क्योंकि } I = \frac{E}{R}\right)$$

क्योंकि शक्ति, ऊर्जा के स्थानान्तरित होने की दर होती है, इसलिये कुल ऊर्जा, शक्ति और समय के गुणन के बराबर होती है। इस प्रकार ऊर्जा की एक छोटी इकाई **वाट सेकंड** (Watt-Second) अथवा **जूल** (Joule) है। परन्तु सामान्य इकाई इससे बहुत बड़ी होती है और उसे **किलोवाट घंटा** (Kilo-Watt-Hour) कहते हैं। यह इकाई 1000 वाट अथवा 1 kw के 1 घंटे तक अनवरत प्रयोग को निर्दिष्ट करती है। यह इकाई ही, विद्युत कंपनियों द्वारा प्रेषित विद्युत ऊर्जा के अधिकांश बिलों का आधार होती है।

उदाहरण : एक विद्युत् तापक, 230 वोल्ट पर 2·5 अम्प० धारा लेता है। इस तापक की शक्ति की आवश्यकता 'वाट' में निकालिये ? यदि विद्युत् ऊर्जा की दर 10 नये पैसे प्रति कि० वा० घं० (किलो-वाट-घंटा) हो और यदि तापक एक महीने में केवल 16 घंटे प्रयोग किया जाता हो, तो मासिक व्यय क्या होगा ?

$$\text{शक्ति} = E \times I = 230 \times 2{\cdot}5 = 575 \text{ वाट}$$

$$\text{ऊर्जा} = \frac{575 \times 16}{1000} = 9{\cdot}2 \text{ कि० वा० घं०}$$

$$\text{मासिक व्यय} = 9{\cdot}2 \times 10 = 92 \text{ नये पैसे}$$

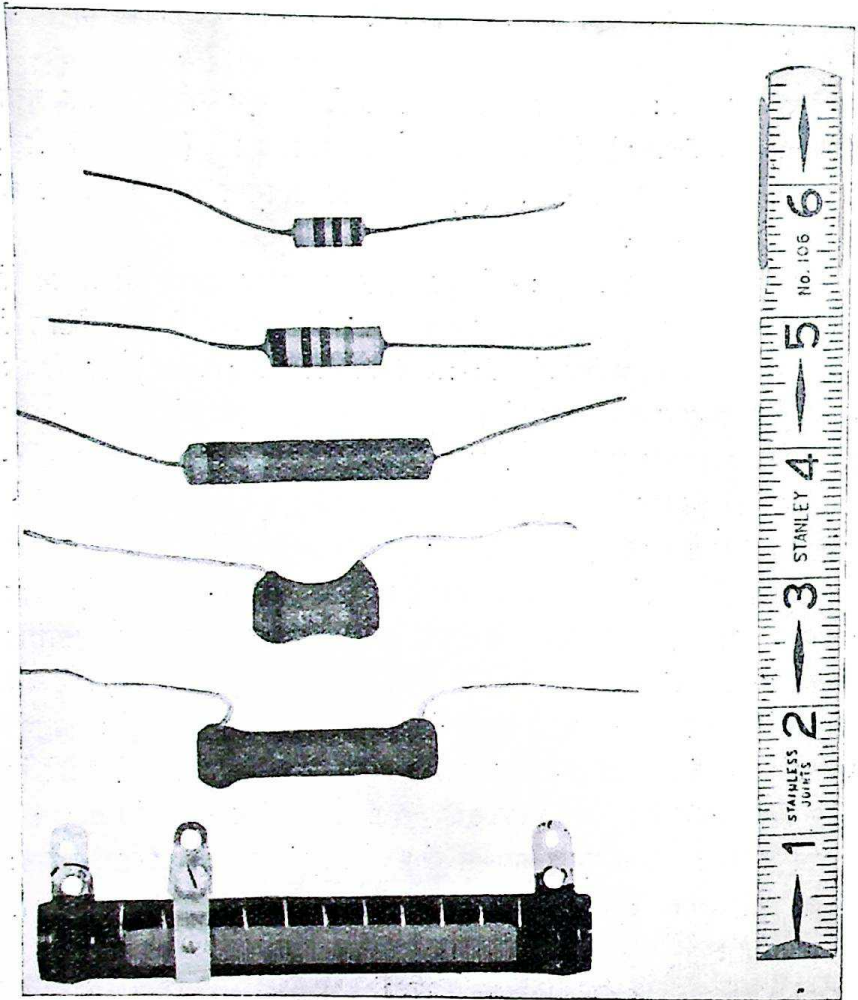
अभ्यास 1-3 : इस्पात का ताप साधन (Heat-treatment) करने वाले एक लवणकुण्ड (Salt-bath) को 6 कि० वा० की आवश्यकता है। 220 वोल्ट पर यह कितनी धारा लेगा? यदि विद्युत् ऊर्जा का मूल्य 12 नये पैसे प्रति यूनिट (kwh) हो, तो प्रतिदिन के १० घण्टे प्रयोग में कितना व्यय होगा?

अभ्यास 1-4 : 20 गैलन पानी गरम करने के एक घरेलू तापक यंन्त्र (Domestic Heater) में 1000 वाट का तापक लगा है। (अ) 220 वोल्ट पर कितनी धारा ली जायगी? (ब) पानी का तापमान 40° F बढ़ाने में कितना समय लगेगा?

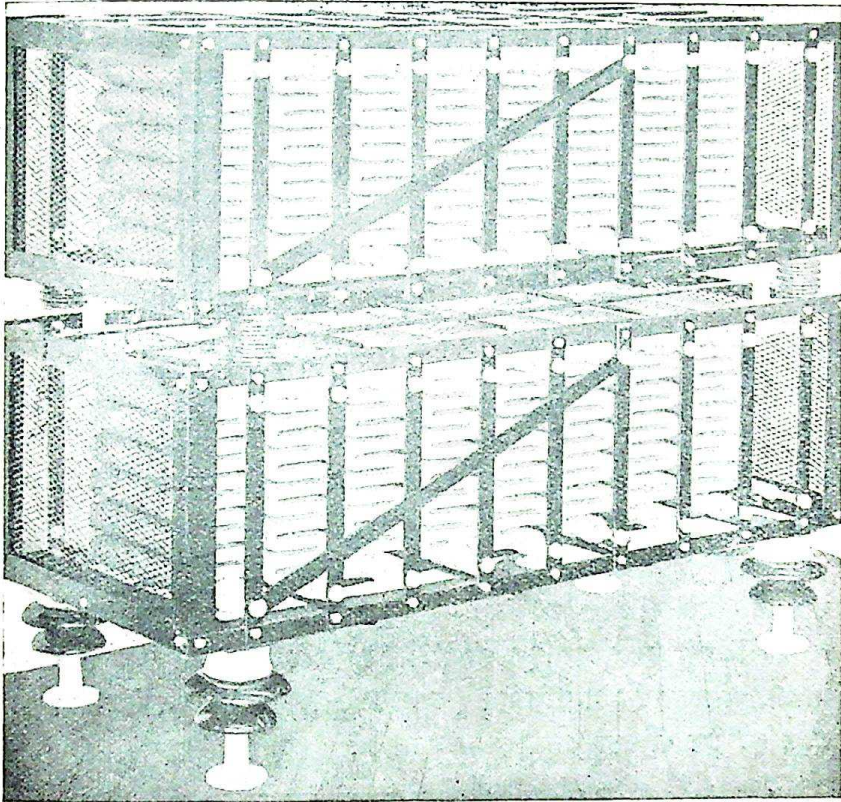
विद्युत् ज्वाल (Fuses) :—विद्युत् धारा के तापन प्रभाव को प्रयोग में लाने के मुख्य उपयोगों में एक विद्युत् ज्वाल का प्रयोग भी है। विद्युत् परिपथ में एक अल्प धारा वाहन धारिता (Current Carrying Capacity) का रोधक एकक लगाया जाता है। जब परिपथ में धारा का मान एक पूर्व निश्चित मान से अधिक हो जाता है, तब यह रोधक बहुत गर्म होकर जल जाता है, और परिपथ को विच्छिन्न कर देता है। इस प्रकार के रोधक एकक को **ज्वाल** कहते हैं; और यह धारा के बहुत बढ़ जाने पर, उसके हानिकारक प्रभावों से मूल्यवान् सज्जा की रक्षा करने के लिये प्रयोग किया जाता है। ज्वाल कई प्रकार के होते हैं; और इनके आकार कुछ मिली० अम्प० से लेकर सैकड़ों अम्पीयर तक होते हैं। क्योंकि इनका प्रयोग परिपथ में सज्जा की रक्षा करने के लिए होता है, इसलिए इन्हें बड़े आकार के ज्वाल से अथवा भारी विद्युत् संवाहकों से नहीं बदलना चाहिये; कारण, ज्वाल का प्रचलन विशेष रूप से अतिभार अवस्था में परिपथ को खोल देने के लिए किया जाता है। बड़े आकार के ज्वाल अथवा ठोस कूदक (Jumper) लगाने से सज्जा का अतिभार अवस्था में प्रवर्त्तन हो सकता है, और परिणामतः सज्जा को क्षति पहुँच सकती है, जिससे ज्वाल का प्रयोग अनुपयोगी हो जाता है।

रोधकों की क्षमता (Rating of Resistors)

रोधक, विद्युत् सज्जा के ठीक-ठीक कार्य करने में इतने महत्त्वपूर्ण होते हैं कि उनकी परिसीमाओं का ज्ञान अति आवश्यक है। क्योंकि यह धारा के प्रवाह से गर्म हो जाते हैं, इसलिए सामान्यतः ये अपने आसपास की वस्तुओं से अधिक तापमान पर कार्य करते हैं। वास्तव में, प्रत्येक रोधक के लिए एक अधिकतम तापमान सुनिश्चित होता है, जिस तक इसे बिना क्षति पहुँचाये गर्म किया जा सकता है। ये अधिकतम तापमान पर तब पहुँचते हैं, जब कि एक विशिष्ठ धारा इनमें से बहे; या ये एक विशिष्ठ शक्ति, ताप के रूप में उत्पन्न करें। इस कथन के अनुसार रोधकों की एक अधिकतम अनुमत **धारा क्षमता** (Current Rating)

अथवा शक्ति क्षमता होती है। यदि इन क्षमताओं का अतिक्रम किया जाय तो संभवतः रोधक क्षत हो जायँगे और फिर संतोषजनक कार्य नहीं कर पायेंगे।

चित्र 1-2 (अ)—इलेक्ट्रॉनिक नियंत्रण में प्रयोग होनेवाले रोधकों के प्ररूप

चित्र 1-2 में रोधकों के आकार तथा उनके मुख्य लक्षण (1) रोध और (2) धारा वहन धारिता अथवा 'वाट निप्रथन धारिता' (Watt Dissipation Capacity) की विभिन्नता का बोध कराया गया है। चित्र 1-2 (अ) में सबसे ऊपर वाले रोधक का रोध तो 1,000,000 ओम हो सकता है किन्तु संभवतः इसकी धारा वहन धारिता कुल $\frac{1}{1000}$ अम्प० तक ही सीमित होगी। इस प्रकार इसको 1 वाट क्षमता का रोधक कहा जायगा। इसके व्यतिरेक में चित्र 1-2 (ब) का रोधक केवल 2 ओम का है किन्तु इसकी धारा-वहन धारिता

2000 अम्प० की है। इस प्रकार इसकी क्षमता 8,000,000 वाट अथवा 8000 किलोवाट कही जायगी।

चित्र 1-2 (ब)–**क्लीव-भूमन रोधक** (Neutral Grounding Resistor)
क्षमता 2000 **अम्प०** 4000 **वोल्ट**

अभ्यास 1-5 : प्रयोगशाला में 1 वाट से 5 कि० वा० तक की विभिन्न क्षमता वाले रोधकों का निरीक्षण कीजिए।

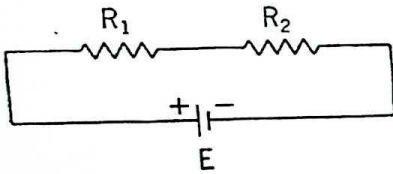
अभ्यास 1-6 : एक 5 कि० वा० के रोधक का रोध 12·5 ओम है। यह, अधिकतम कितनी धारा वहन कर सकेगा ?

माला परिपथ (Series Circuits)

विद्युत् संवाहकों को एक दूसरे के साथ इस प्रकार युजित किया जा सकता है, कि किसी एक में से बहती हुई धारा सभी में से उसी परिमाण में बहे। यह चित्र 1-3 में दिखाया गया है। जब परिपथों का इस प्रकार युजन किया जाता है, तब रोधकों को माला विधि में युजित हुआ कहा जाता है। R_1 और R_2 का, इस विधि से युजित

हुई अवस्था में संयोजित (Combined) अथवा सम (Equivalent) रोध :

$$R\text{सम} = R_1 + R_2$$

R_1 के सिरों पर विद्युत् दबाव (वोल्टता) को, R_2 के सिरों पर विद्युत् दबाव के साथ जोड़ने पर कुल विद्युत् दबाव प्राप्त होगा।

चित्र 1-3 : **माला युजित रोध**

ओम नियम के अनुसार R_1 के सिरों पर दबाव अथवा वोल्टता $R_1 I$ है और R_2 के सिरों पर $R_2 I$ है। क्योंकि दोनों रोधकों में समान धारा बह रही है, इसलिए प्रत्येक के सिरों पर वोल्टता उनके अपने रोध के अनुपात में होगी। साथ ही R_1 के आर-पार वोल्टता कुल वोल्टता की $R_1/(R_1+R_2)$ के अनुपात में होगी। यह सम्बन्ध, विद्युत् उपकरणों (Electrical Instruments) में बहुधा प्रयुक्त होता है। रोधकों के इस प्रकार के युजन को, जिससे कम वोल्टता प्राप्त हो सके, **शक्ममापी** (Potentiometer) अथवा **शक्मविभाजक** (Potential Divider) कहा जाता है।

उदाहरण : 20000 ओम का एक रोधक, 5000 ओम के एक रोधक से माला में युजित है; और 120 वोल्ट अव्यवहित धारा परिपथ में लगा है। (अ) बताइये कितनी धारा प्रवाहित होगी? (ब) यदि 5000 ओम के रोधक के आरपार वोल्टता एक गैस त्रिओद (Gas Triode) के नियंत्रण में प्रयोग की जाय, तब इस वोल्टता का परिमाण बताइये?

समाधान : माला युजित दोनों रोधकों का सम मान :

$$R_t = 20000 + 5000 = 25000 \text{ ओम}$$

ओम नियम के अनुसार, धारा :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120}{25000} = 0{\cdot}0048 \text{ अम्प०}$$

5000 ओम के रोधक के आरपार वोल्टता :

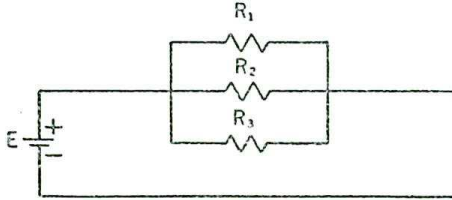
$$V_{5000} = V\text{कुल} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= 120 \times \frac{5000}{5000 + 20000} = 24 \text{ वोल्ट } \textbf{(उत्तर)}$$

अभ्यास 1-7 : अभ्यास 1-1 का सांधिक लौह अत्याधिक गर्म हो जाता है। एक 5 ओम का रोधक लौह के साथ माला में युजित किया गया है। (अ) लाइन से कितनी धारा ली जायगी? (ब) पूर्व शक्ति का कितना भाग अब लौह में निप्रथित होता है?

अभ्यास 1-8 : अभ्यास 1-2 के विद्युत् चूल्हे के ताप में 10%की कमी करना वांछनीय है। (अ) बताइये, परिपथ में कितना अतिरिक्त रोध लगाया जाय ? (ब) इसमें कितनी धारा बहेगी ?

समानान्तर परिपथ (Parallel Circuits)

विद्युत् परिपथों में रोधक समानान्तर रीति से भी युजित किये जाते हैं जैसा चित्र 1-4 में दिखाया गया है।

चित्र 1-4 : समानान्तर युजित रोध

जब रोधक इस विधि के अनुसार युजित किये जाते हैं, तब एक रोधक पर वोल्टता इस प्रकार आरोपित होती है मानो कि अन्य रोधक परिपथ से अनुपस्थित हों। किसी रोधक में धारा ओम नियम के अनुसार निकाली जाती है। परिपथ में कुल धारा अलग अलग रोधकों की धारा के योग के बराबर होती है।

$$I_1=\frac{E}{R_1};\quad I_2=\frac{E}{R_2};\quad I_3=\frac{E}{R_3}$$

परिपथ में कुल धारा $I=I_1+I_2+I_3$

$$=\frac{E}{R_1}+\frac{E}{R_2}+\frac{E}{R_3}$$

$$=E\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)$$

राशि $1/R$ एक स्थिरांक है और **संवाहिता** (Conductance) कहलाती है तथा चिह्न G से देशित की जाती है। यह रोधक का वह लक्षण है जिसे वोल्टता से गुणा करने पर धारा का मान प्राप्त होता है। संवाहिता की इकाई को 'मो' (Mho) कहते हैं। यदि ओम (Ohm) का उल्टी ओर से उच्चारण किया जाय तो भी (Mho) प्राप्त होगा। यह नाम इसलिये चुना गया है कि यह ओम की उल्टी राशि होने की याद दिलाता रहे।

उदाहरण : निम्नलिखित समानान्तर युजित 4 रोधकों का सम मान निकालिए।

$R_1=20$ ओम $\quad R_2=25$ ओम

$R_3=12$ ओम $\quad R_4=8$ ओम

समाधान : $G_1 = \frac{1}{20} = 0{\cdot}050$ mho

$G_2 = \frac{1}{25} = 0{\cdot}040$ mho

$G_3 = \frac{1}{12} = 0{\cdot}084$ mho

$G_4 = \frac{1}{8} = 0{\cdot}125$ mho

कुल संवाहिता, $G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = 0{\cdot}299$ mho

$$\text{समरोध} = \frac{1}{0{\cdot}299} = 3{\cdot}34 \text{ ओम}$$ (उत्तर)

अभ्यास 1-9 : दो रोधक, एक 10 ओम का और एक 12 ओम का समानान्तर में 220 वोल्ट की लाइन से युजित हैं। कुल धारा का तथा समरोध का मान निकालिये ?

अभ्यास 1-10 : 30,15 और 10 ओम के तीन रोधक 230 वोल्ट के परिपथ में समानान्तर में युजित हैं। बतलाइये,

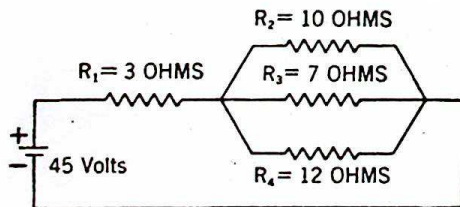
(अ) लाइन से कितनी धारा ली जाती है ?

(ब) इस धारा का कितना अंश 15 ओम वाले रोधक में से बहेगा ?

अभ्यास 1-11 : एक 225 वोल्ट जनित्र (Generator) समानान्तर में युजित दो रोधकों को 24 अम्प० धारा प्रदाय करता है। यदि एक रोधक 10 अ० लेता है, तो दोनों रोधकों का रोध बताइये ?

अभ्यास 1-12 : चार रोधक समानान्तर में युजित हैं उनका रोध क्रमशः 6, 8, 16 और 20 ओम है। यदि 24 वोल्ट की वोल्टता आरोपित की जाय तो कुल कितनी धारा प्रवाहित होगी ? (ब) इस धारा का कितना अंश 16 ओम वाले रोधक में से बहेगा ?

समानान्तर-माला परिपथ (Series-Parallel Circuits)

बहुधा विद्युत् सज्जा में रोधकों का माला समानान्तर युजन अपेक्षित होता है। इस प्रकार के परिपथ का समाधान करने की विधि पहले समानान्तर रोधकों

चित्र 1-5 : **माला-समानान्तर युजित रोध**

का सम रोध निकालकर फिर उस सम रोध को माला युजित अन्य रोधकों के साथ माला-बद्ध करके कुल सम रोध (Total Equivalent Resistance)

निकालने की है। अब आरोपित वोल्टता के कारण कुल धारा निकाली जा सकती है। यह कुल धारा समानान्तर परिपथों में विभक्त की जा सकती है। किसी रोधक में, जो दूसरे से समानान्तर में हैं, धारा का मान उसकी संवाहिता के अनुपात में होगा; और इस प्रकार सब रोधकों में धारा निकाली जा सकती है।

उदाहरण : चित्र 1-5 में दिखाये हुए, 7 ओम वाले रोधक में धारा निकालिये।

$$G_2=\frac{1}{10}=0{\cdot}100 \text{ mho}$$

$$G_3=\frac{1}{7}=0{\cdot}143 \text{ mho}$$

$$G_4=\frac{1}{12}=0{\cdot}083 \text{ mho}$$

सम संवाहिता $=0{\cdot}1+0{\cdot}143+0{\cdot}083=0{\cdot}326$ mho

सम समानान्तर रोध $=\dfrac{1}{0{\cdot}326}=3{\cdot}07$ ohms

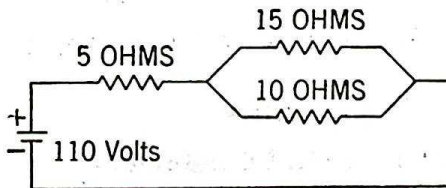
कुल सम रोध $=3{\cdot}07+3=6{\cdot}07$ ohms

कुल धारा $I_t=\dfrac{E}{R_t}=\dfrac{45}{6{\cdot}07}=7{\cdot}4$ अम्प०

7 ओम वाले रोधक में धारा $I_7=\dfrac{G_3}{G_{eq}}.I_t$

$$=\frac{0{\cdot}143}{0{\cdot}326}\times 7{\cdot}4=3{\cdot}24 \text{ अम्प०}$$

किसी शाखा में धारा निकालने की विकल्प विधि इस प्रकार है : पहले परिपथ के समानान्तर भाग के आरपार, सम *IR* पात (Equivalent *IR* drop) निकाल कर, फिर इस पात को उस शाखा के रोध से भाग देकर उसमें धारा निकाली जा सकती है।

उदाहरण : चित्र 1-6 में दिखाये गये परिपथ में, 10 ओम के रोधक में धारा निकालिये।

चित्र 1-6 : **एक माला-समानान्तर परिपथ**

समाधान : समानान्तर परिपथ का समरोध

$$R_{eq}=\frac{10\times 15}{10+15}=\frac{150}{25}=6 \text{ ओम}$$

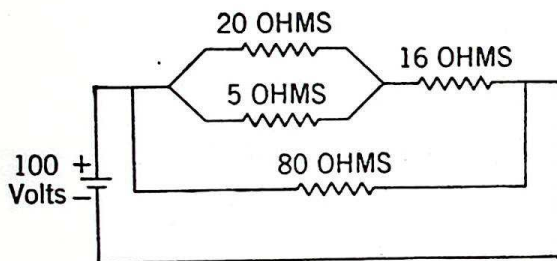
परिपथ का कुल रोध $R_t = 5 + 6 = 11$ ओम

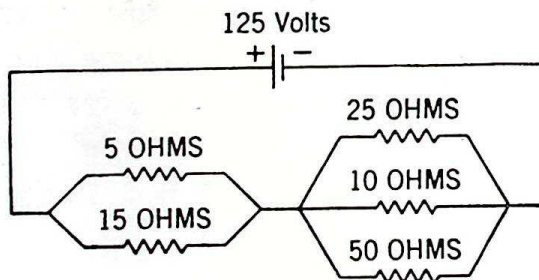
कुल धारा $I_t = \frac{E}{R_t} = \frac{110}{11} = 10$ अम्प०

समानान्तर रोधकों के आरपार वोल्टता

$$E_p = IR_{eq} = 10 \times 6 = 60 \text{ वोल्ट}$$

10 ओम के रोधक में धारा $= \frac{E_p}{R_{10}} = \frac{60}{10} = 6$ अम्प०

अभ्यास 1-13 : चित्र 1-7 में दिये हुए परिपथ में कुल धारा तथा 5 ओम के रोधक में धारा का मान निकालिये।

चित्र 1-7 : **अभ्यास** 1-13 **का परिपथ**

अभ्यास 1-14 : चित्र 1-8 में दिये हुए 25 ओम के रोधक में तथा कुल परिपथ में धारा का मान निकालिये।

चित्र 1-8 : **अभ्यास** 1-14 **का परिपथ**

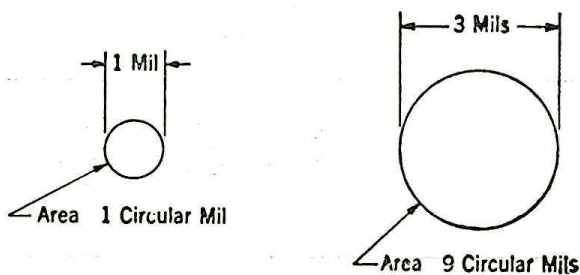
विद्युत् संवाहकों की रोधन शीलता
(Resistance of Electrical Conductors)

विद्युत् शक्ति के संवाहन के लिये जो तार प्रयोग किये जाते हैं, वे सामान्यतः ताँबे के होते हैं, और प्रमापित आकारों में उपलब्ध होते हैं। भवनों और कारखानों में विद्युत् विभाजन के लिये जो तार प्रयुक्त होते हैं उनपर मोटे विसंवाहक के आवरण चढ़े रहते हैं (सामान्यतः कई परतों में) और राष्ट्रीय विद्युत् संहिता (National Electrical Code)

द्वारा इनकी धारा-वहन धारिता निर्देशित होती है। विद्युत् मशीनों तथा कुण्डलों के निर्माण के लिये जो तार प्रयुक्त होते हैं उन्हें चुम्बक तार (Magnet Wire) कहते हैं। इन पर विसंवाहक का केवल पतला आवरण रहता है। इन दोनों प्रकार के तारों का उपयोग भिन्न-भिन्न होने के कारण, इनके विषय में सूचना दो अलग तालिकाओं में दी गई है।

तालिका 1-1 में, औद्योगिक तन्तुकन (Industrial Wiring) में सामान्यतया प्रयोग किये जाने वाले तारों के आकार तथा कई प्रकार के विसंवाहनों के लिये उनकी धारा-वाहन-धारिता दी गई हैं। इसी तालिका में, ताँबे के ताँबे वाले भाग का व्यास मिल (Mil—इंच का हजारवाँ भाग) में ; और अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल वर्ग इंच तथा वर्तुल मिल (Circular Mil) में दिया गया है।

तालिका 1-2 में ताँबे के चुम्बक तारों के मुख्य गुण दिये गये हैं।

इन तालिकाओं में प्रेषित 'वर्तुल मिल' क्षेत्रफल की काफी काम में लाई जाने वाली इकाई है। इस कारण इसकी व्याख्या करना उचित होगा। एक मिल व्यास के वृत्त (Circle) के क्षेत्रफल को एक वर्तुल मिल कहते हैं। किसी रंभाकार (Cylindrical) तार का अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल वर्तुल मिल में निकालने के लिये उसके व्यास (मिल में) का वर्ग करना आवश्यक है।

चित्र 1-9 : **क्षेत्रफल के वर्तुल माप**

पहले पढ़े हुए माला-समानान्तर परिपथों के नियमों का तर्क सम्मत विकास यह है, कि एक संवाहक का रोध उसकी लम्बाई के समानुपाती और अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल के प्रतीपानुपाती होता है। गणितानुसार,

$$R = \rho \frac{l}{a}$$

जिसमें l लम्बाई, a अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्र तथा ρ संवाहक की रोधिता (Resistivity) है। यह एकक (Unit) लम्बाई तथा एकक अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल के संवाहक का रोध होती है। अमरीका में, सामान्यतः, लम्बाई फ़ीट में और अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल वर्तुल मिल में दिया जाता है। [भारत में

तालिका 1-1

शक्ति-तन्तुकन (Power-wiring) के लिये विसंवाहित संवाहकों के गुण

Size of wire (AWG)	Diameter of solid conductor (in mils)	Pounds per 1000 ft	Area of conductor (in circular mils)	Area of conductor (in in.^{2})	Ohms per 1000 ft at 20° C	Allowable Current-Carrying Capacity (not more than 3 conductors in raceway)*		
						Code rubber	Heat-resistant rubber	Varnished cambric
14	64.1	12.43	4,107	0.003225	2.525	15	15	25
12	80.8	19.77	6,530	0.005129	1.588	20	20	30
10	101.9	31.43	10,380	0.008155	0.9989	30	30	40
8	128.5	49.98	16,510	0.01297	0.6282	40	45	50
6	162.0	79.46	26,250	0.02062	0.3951	55	65	70
4	204.3	126.4	41,740	0.03278	0.2485	70	85	90
2	257.6	200.9	66,370	0.05213	0.1563	95	115	120
1	289.3	253.3	83,690	0.06573	0.1239	110	130	140
0	325.0	319.5	105,500	0.08289	0.09827	125	150	155
00	364.8	402.8	133,100	0.1045	0.07793	145	175	185
000	409.6	507.9	167,800	0.1318	0.06180	165	200	210
0000	460.0	640.5	211,600	0.1662	0.04901	195	230	235
		758	250,000	0.1970	0.04150	215	255	270
		1,516	500,000	0.3940	0.02075	320	380	405
		2,274	750,000	0.5910	0.01383	400	475	500
		3,032	1,000,000	0.7880	0.01038	455	545	585

* राष्ट्रीय विद्युत संहिता के आधार पर प्रारूपिक धारा-वहन-धारिताएँ

तालिका 1-2
ताँबे के चुम्बक तार (Magnet wire) के गुण

Size of wire (AWG)	Diameter (mils*)	Ohms per 1000 ft at 20° C	Pounds per 1000 ft	Diameter C† (mils)	Diameter E‡ (mils)	Diameter EC§ (mils)
6	162.0	.3951	79.46	170.		
8	128.5	.6282	49.97	134.	131.	136.
10	101.9	.9989	31.43	107.	104.	109.
12	80.81	1.588	19.77	85.8	83.0	88.0
14	64.08	2.525	12.43	69.1	66.1	71.1
16	50.82	4.016	7.818	55.8	52.6	57.6
18	40.30	6.385	4.917	45.3	42.0	47.0
20	31.96	10.15	3.092	37.0	33.5	38.0
22	25.35	16.14	1.542	29.4	26.8	31.3
24	20.10	25.67	1.223	24.1	21.3	25.8
26	15.94	40.81	.7692	19.9	17.0	21.5
28	12.64	64.90	.4837	16.6	13.6	17.6
30	10.03	103.2	.3042	14.0	10.8	14.8
32	7.950	164.1	.1913	12.0	8.75	12.8
34	6.305	260.9	.1203	10.3	7.01	11.0
36	5.000	414.8	.0757	9.00	5.60	9.60
38	3.965	659.6	.0476	7.97	4.47	8.47
40	3.145	1049.0	.0299	7.15	3.55	7.55

* 1 मिल=0·001 इंच
† C एकी-रूई-आवरित (Single Cotton Covered)
‡ E आकाचित (Enameled)
§ EC आकाचित एवं एकी-रूई-आवरित (En & S.C.C.)

लम्बाई फ़ीट में तथा तार का आकार S.W.G. (Standard Wire Gauge) में दिया जाता है] इसके अनुसार एकक लम्बाई, तथा एकक अनु० छे० क्षे० वाले तार का रोध 1 फुट लम्बे और 1 वर्तुल मिल के अनु० छे० क्षे० वाले तार के रोध के बराबर है। इस प्रकार ताँबे की रोधिता $20^\circ C$ पर 10·37 ओम प्रति वर्तुल-मिल फुट है।

उदाहरण : 600 फीट लम्बे, 40·3 मिल व्यास के ताँबे के तार का रोध निकालिये।

समाधान : $\rho = 10{\cdot}37$

$l = 600$ फीट ; $a = 40{\cdot}3 \times 40{\cdot}3 = 1624$

इसलिये $R = \rho \dfrac{l}{a} = 10{\cdot}37 \times \dfrac{600}{1624} = 3{\cdot}84$ ओम

2

विकल्प समाधान :

तालिका 1-2 में 40·3 मिल व्यास के तार को खोजिये। यह 18 नम्बर का तार है जिसका रोध 6·38 ओम प्रति 1000 फीट है।

$$R = 6{\cdot}38 \times \tfrac{600}{1000} = 3{\cdot}84 \text{ ओम}$$

चूंकि, अधिकतर ताँबे के तार प्रमाप तन्तु आमान (Standard Wire Gauge) के अनुसार होते हैं, इसलिये इनका रोध तालिका 1-1, 1-2 या इन जैसी तालिकाओं से सीधे ही निकाला जा सकता है। तथापि बहुधा विवर्तुल (Non-circular) आकारों के रोध का संगणन भी अपेक्षित होता है, और इसलिये विमा (Dimension) के आधार पर संगणना करना आवश्यक हो जाता है।

उदाहरण : $1 \times \frac{1}{4}''$ के अनु० छे० क्षे० वाले, 400 फीट लम्बे ताँबे के दण्ड का रोध निकालिये।

समाधान : $\rho = 10{\cdot}37$ ओम प्रति मिल फुट

$l = 400$ फीट ; $a = 1 \times \frac{1}{4} = \frac{1}{4}$ वर्ग इंच

[1 वर्ग इंच का क्षेत्रफल वर्तुल मिल में, $\frac{4}{\pi} \times 10^6$ वर्तुल मिल के बराबर होता है]

$$\therefore a = \tfrac{1}{4} \times \frac{4}{\pi} \times 10^6 = 318000 \text{ वर्तुल मिल}$$

$$R = \rho \frac{l}{a} = 10{\cdot}37 \times \frac{400}{318000} = 0{\cdot}01305 \text{ ओम} \qquad \textbf{(उत्तर)}$$

अभ्यास 1-15 : 0·05 इंच व्यास के तार का क्षेत्रफल वर्तुल मिल में निकालिये।

अभ्यास 1-16 : 1·5 इंच बाहरी व्यास तथा 1·3 इंच आन्तरिक व्यास वाली 30 फीट लम्बी ताँबे की नली का रोध निकालिये।

अभ्यास 1-17 : 0·06 इंच मोटी, 0·75 इंच चौड़ी और 164 फीट लम्बी ताँबे की पत्ती का रोध निकालिये।

कभी-कभी ताँबे के अतिरिक्त दूसरे संवाहकों का रोध निकालना भी आवश्यक होता है। यदि दूसरे पदार्थ की रोधिता ज्ञात हो, तो यह सरलता से निकाला जा सकता है। तालिका 1-3 में सामान्य संवाहकों की आपेक्षिक रोधिता (Specific Resistivity) का मान दिया गया है।

उदाहरण : 65 फीट लम्बी 0·04″ चौड़ी और $\frac{1}{2}''$ मोटी निक्रोम (Nichrome) पट्टिका (Ribbon) का रोध निकालिये।

समाधान : $\rho = 675$ ओम प्रति मिल फुट

$l = 65$ फीट ; $a = 0{\cdot}04 \times 0{\cdot}5 = 0{\cdot}02$ वर्ग इंच

$$=0{\cdot}02\times\frac{4}{\pi}\times10^{6}=25400 \text{ वर्तुल मिल}$$

$$R=\rho\frac{l}{a}=675\times\frac{65}{25400}=1{\cdot}73 \text{ ओम} \qquad \text{(उत्तर)}$$

तालिका 1-3

सामान्य धातुओं तथा मिश्रातुओं के भौतिक गुण

Metals and alloys	Resistivity, ohms (mil. ft)	Resistance relative to copper	Temp. coeff. of resistance per °C (20 C)	Melting point °C
Copper	10.37	1.0	0 0039	1,083
Iron	60.0	5.80	0.0050	1,535
Zinc	35.5	3.43	0.0035	419
Tungsten	33.2	3.20	0.0045	3,382
Aluminum	16.1	1.55	0.0040	659
Gold	14.5	1.40	0.0034	1,063
Silver	9.78	0.943	0.0038	960
Radiohm	800.0	77.0	0.0007	1,480
Nichrome	675.0	65.0	0.00017	1,350
Advance	294.0	28.0	0.00002	1,210
High brass	38.7	3.75	0.0016	930
Low brass	32.0	3.10	0.0017	1,000
Commercial bronze	25.0	2.4	0.0020	1,045

अभ्यास 1-18 : 2″ बाहरी व्यास तथा 1·4″ आन्तरिक व्यास की अल्यूमीनियम (Alluminium) की नली का प्रति 1000 फीट रोध क्या होगा ?

अभ्यास 1-19 : एक 100 पौंड इस्पात रेल का अनु० छे० क्षे० 9·82 वर्ग इंच है। इस रेल की प्रति मील लम्बाई का रोध क्या होगा ?

अभ्यास 1-20 : एक विकृति गेज (Strain Gauge) का तार एड्वांस (Advance) धातु का बना है। इसका व्यास 0·001″ है और लम्बाई 6″। इसका रोध क्या होगा ?

(विकृति गेज के विवरण के लिये अध्याय 18 देखिये)

रोध का तापमान गुणक
(Temperature Coefficient of Resistance)

रोध का गणन करते समय, रोधिता के ऊपर ताप का प्रभाव, एक महत्त्वपूर्ण विचार है। ताँबे और अधिकांश शुद्ध धातुओं के तापमान के बढ़ने पर रोध में भी उपागण्य वृद्धि होती है। इन शुद्ध धातुओं के रोध में परिवर्तन तापमान परिवर्तन के लगभग समानुपात में होता है (जब तक अति अल्प और अति उच्च तापमान पर्यालोचन के बाहर रक्खे जाते हैं)। ताँबे में यह परिवर्त्तन प्रति डिग्री

सेंटीग्रेड ($^{\circ}C$) ताप परिवर्तन के लिये $20^{\circ}C$ पर रोध का $\frac{1}{254}$ वाँ भाग अर्थात् 0·00393 के बराबर होता है। (यह लगभग 0·4 प्रतिशत प्रति $^{\circ}C$ है)। इस प्रकार यदि किसी कुंडल का तापमान $90^{\circ}C$ हो जाता है तो उसका रोध :

$$R_{90} = R_{20} + R_{20}\,(90-20) \times \cdot 00393$$
$$= R_{20}(1 + 70 \times \cdot 00393) = 1\cdot 275 R_{20}$$

इस दशा में, रोध में 27·5% की वृद्धि हुई है।

साधारणतया हवा से अधिक तापमान पर प्रवर्तन करने वाली विद्युत् सज्जा के समनुविधान की संगणनाओं को तो, रोध का यह घटाव बढ़ाव, प्रभावित करता ही है ; साथ ही तापमान के मापने में भी यह विस्तृत रूप से प्रयुक्त होता है। सापेक्षतया कम तापमान मापन करने वाले अभिलेखी तापमापियों (Recording Thermometers) में और आत्मग ताप नियंत्रकों (Automatic Temperature Controllers) में, रोध कुंडलो का प्रयोग सामान्य है।

ऐसे गणन करते समय, जिसमें ताप के साथ रोध का घटाव बढ़ाव अंतर्हित है, यह याद रखना आवश्यक है कि तालिका में दिये गये ताप गुणक केवल $20^{\circ}C$ पर रोध के लिये प्रयुक्त होते हैं। यदि ज्ञात रोध, प्रमापित तापमान से भिन्न तापमान पर है, तो रोध का अंतिम गणन करने से पहले उसे ऊपर लिखे समीकार द्वारा प्रमापित तापमान पर बदलना आवश्यक है।

उदाहरण : एक मशीन के क्षेत्र कुंडल (Field Coil) (जो ताँबे का है) का रोध $15^{\circ}F$ पर 21·3 ओम मापा गया है। जब यह मशीन $120^{\circ}F$ पर प्रवर्तन करती हो तो उसके क्षेत्र-कुंडल का रोध क्या हो जायगा ?

समाधान : १. सेंटीग्रेड श्रेणी पर बदलना :

$$T_C = (T_F - 32)\tfrac{5}{9} = (15-32)\tfrac{5}{9}$$
$$= -17 \times \tfrac{5}{9} = -9\cdot 45^{\circ}C.$$

२. $20^{\circ}C$ पर रोध निकालना :

$$R_{20} = \frac{R_{-9\cdot 45^{\circ}}}{1-(9\cdot 45+20)\cdot 00393} = 24\cdot 15 \text{ ओम}$$

३. अंतिम तापमान को सेंटीग्रेड श्रेणी पर बदलना :

$$T_C = (T_F - 32)\tfrac{5}{9} = (120-32)\tfrac{5}{9}$$
$$= 88 \times \tfrac{5}{9} = 48\cdot 9^{\circ}C.$$

४. अंतिम तापमान पर रोध निकालना :

$$R_{120^{\circ}F} = R_{48\cdot 9^{\circ}C} = 24\cdot 15\,[\,1 + (48\cdot 9 - 20)\;\cdot 00393\,]$$
$$= 24\cdot 15\,[\,1 + \cdot 1135\,] = 26\cdot 9 \text{ ओम}$$

उपर्युक्त पद 2 और 4 को गणन में सरलता के लिये, एक सूत्र में बद्ध किया जा सकता है, विशेषतया, यदि इस प्रकार के कई संगणन करने हों।

संगणना की एक विकल्प विधि, इस आधार पर प्रयोग की जा सकती है कि $70^{\circ}F$ पर ताँबे का ताप-रोध-गुणक, 0·0022 प्रति डिग्री F है। इससे, सेंटीग्रेड श्रेणी में बदलना अनावश्यक हो जाता है।

अभ्यास 1-21 : निर्देशित तापमान पर रोध निकालने के लिये केवल एक सूत्र विकसित कीजिए, जब कि रोध $20^{\circ}C$ अभ्युद्देश (Reference) से अन्य तापमान पर दिया गया हो। (भविष्य में निर्देश के लिये इसे पुस्तक की तटसीमा में लिखा जा सकता है।)

विभिन्न धातुओं और मिश्रातुओं के ताप गुणक भिन्न-भिन्न होते हैं। इन गुणकों का मान तालिका 1-3 में दिया गया है। अधिक सामान्य शुद्ध धातुओं के लिये इसका परास (Range), 0·0035 से लेकर 0·005 तक होता है। बहुत-सी रोध मिश्रातुओं (Resistance-alloys) का रोध गुणक, उच्च तापमान परास में सदैव स्थिर नहीं रहता। तब भी, तालिका में दिये हुए मान अधिकांश प्रयोजनों के लिये काफी ठीक-ठीक न्यास प्रस्तुत करते हैं। उदाहरणार्थ नाइक्रोम तार के रोध में, कमरे के तापमान से $800^{\circ}C$ तक बढ़ जाने में केवल 14% की ही वृद्धि होती है।

एडवांस (Advance) और इस जैसी ही मिश्रातुओं का ताप गुणक इतना कम होता है, कि इसे तापमान के साधारण अंतर के लिये नगण्य समझा जा सकता है। ये मिश्रातु, आमापित रोधकों (Standard Resistors) के निर्माण में प्रयोग किये जाते हैं, और साधारण परिशुद्धता के लिये तापमान संशोधन (Temperature Correction) अनावश्यक है।

अभ्यास 1-22 : टंगस्टन तार का बना एक कुंडल, ताप मापन के लिये प्रयोग किया जाता है। $20^{\circ}C$ पर इसका रोध 120 ओम है। यदि तापमान $1^{\circ}C$ तक मापना हो तो $600^{\circ}C$ पर इसके रोध को कितनी परिशुद्धता से मापा जाना चाहिये ?

अभ्यास 1-23 : एक नाइक्रोम (Nichrome) तापक के $70^{\circ}F$ से $1600^{\circ}F$ तक गर्म होने के कारण, रोध में कितना अंतर होगा ? $70^{\circ}F$ पर उसका रोध 6·05 ओम है।

करशफ़ के नियम (Kirchhoff's Laws)

जटिल विद्युत् परिपथों के समाधान के लिये, दो नियम, जिन्हें करशफ़ के नियम कहते हैं, मुख्य उपकरण हैं। इनमें से पहले को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

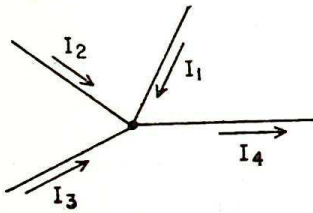
करशफ़ का धारा नियम : **विद्युत् परिपथ के किसी संगम के अन्दर की ओर बहने वाली धारा उससे बाहर की ओर बहने वाली धारा के बराबर होती है।**

इस कथन की सत्यता, स्वतः सिद्ध है क्योंकि विद्युत् परिपथों के संगम बिन्दुओं पर विद्युत् आवेश (Electric-charge)) के एकत्रित होने का कोई प्रवधान नहीं होता। यदि यह कथन सत्य नहीं है, तो संगम पर आवेश का अनिश्चित एकत्रीकरण हो जायगा, जो कि साधारण संवाहकों में संभव नहीं है। रेखाचित्र 1-10 में देशित धारा की दिशाओं को मानते हुए

$$I_1+I_2+I_3=I_4$$

यदि ऊपर लिखे समीकरण के दोनों ओर से I_4 घटा दिया जाय तो इस नियम का विकल्प कथन प्राप्त किया जा सकता है।

$$I_1+I_2+I_3-I_4=0$$

विकल्प कथन यह है : **एक विद्युत् परिपथ के किसी संगम के अन्दर बहने वाली धाराओं का बीजीय योग** (Algebraic Sum) **शून्य के बराबर होता है।**

चित्र 1-10 : **जटिल परिपथों में संगम बिन्दु पर धाराएँ**

(यदि कल्पित धनात्मक दिशाओं का ठीक-ठीक ध्यान रक्खा जाय।) यह कथन, इस तथ्य पर ज़ोर देता है, कि बहुधा जटिल विद्युत् परिपथों में धारा के बहाव की दिशा ज्ञात न होने के कारण एक धनात्मक दिशा का कल्पन आवश्यक है। यदि अंतिम समाधान में धारा का मान ऋणात्मक निकलता है तो इससे यह देशित होता है कि धारा का बहाव कल्पित धन दिशा के विपरीत है।

दूसरा नियम, जटिल परिपथ की किसी पाशी (Loop) अथवा अक्षि (Mesh) में वोल्टता से संबन्धित है। इसे निम्नलिखित रूप में व्यक्त किया जा सकता है :

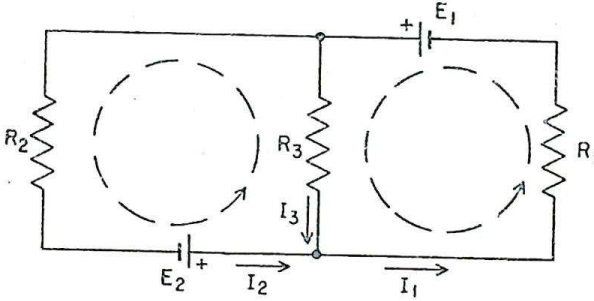
करशफ़ का वोल्टता नियम : **एक परिपथ की किसी पाशी में बैटरी अथवा जनित्र वोल्टताओं का बीजीय योग उसी पाशी के रोध अंशको** (Resistance Elements) **में वोल्टता पात के बीजीय योग के बराबर होता है।**

इस कथन की सत्यता भी स्वतः सिद्ध है, क्योंकि परिपथ के चारों ओर जाने में शक्म में विचरण होगा, किन्तु जिस बिन्दु से भी आरम्भ किया जायगा उसका शक्म उतना ही रहेगा। आरम्भिक बिन्दु (Starting Point) पर बिना शक्म परिवर्तन के पहुँचने के लिये, परिपथ के चारों ओर जाने के बाद, शक्म के विचरण का बीजीय योग शून्य ही होना चाहिये। इससे दूसरे नियम का विकल्प कथन इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है : **एक परिपथ की किसी पाशी के चारों ओर में होने वाले शक्म परिवर्तन का बीजीय योग शून्य होता है।**

इन समीकारों के प्रयोग का निदर्शन करने के लिये एक अति सरल **जालक्रम** (Network) का अध्ययन किया जायगा, जिसमें केवल दो पाशी हैं। चित्र 1-11

में दो पाशी दिखाई गई हैं जिनमें प्रत्येक में एक वोल्टता आरोपित है। इस परिपथ का समाधान करने के लिये पहले संगम A पर धारा समीकार लिखी जायगी।

$$I_3 = I_1 - I_2$$

इस समीकार में तीनों अज्ञात राशियाँ अंतर्हित हैं और इसलिये धारा नियम से केवल यही सम्बन्ध प्राप्त किया जा सकता है।

चित्र 1-11 : करशफ़-नियम समीकारों को बनाने के लिये, दो पाशी वाला जालक्रम

अब, पाशी के चारों ओर वोल्टता समीकार, निम्नलिखित अधिनियमों का ध्यान रखते हुए, स्थापित किये जायेंगे। प्रत्येक पाशी में, पाशी के चारों ओर धनात्मक (Positive) दिशा का चयन करना आवश्यक है। यहाँ पर, दोनों पाशियों के लिये प्रतिघटी (Counter-clockwise) दिशा, धनात्मक मानी जायगी। धनात्मक दिशा में धारा प्रवाहित करने के लिये उन्मुख वोल्टता धनात्मक मानी जायगी। जब एक रोधक में धारा धनात्मक दिशा में बहती है तब रोध में से गमन करने पर शक्म में कमी अनुभव होती है ; इसलिये वोल्टता पात को धनात्मक कहा जायगा। यदि धारा प्रवाह, पाशी में कल्पित धनात्मक दिशा के विरुद्ध हो, तब वोल्टता पात ऋणात्मक होगा ; अथवा रोधक में से गमन करने पर वोल्टता उत्कर्ष अनुभव होगा। इन अधिनियमों का ध्यान रखते हुए निम्नलिखित समीकार प्राप्त होते हैं :

$$E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 \; ; \qquad E_2 = R_2 I_2 - R_3 I_3$$

दाहिनी पाशी में कल्पित धनात्मक दिशा में जाने में (Traversing) I_1 और I_3 दोनों ही की दिशा धनात्मक है। इसलिये दोनों ही वोल्टता पात उत्पन्न करेंगी। ये वोल्टता पात, पाशी में आरोपित वोल्टता के बराबर होंगे। तथापि बाँई पाशी में I_3 की धन (+) दिशा पाशी में जाने की कल्पित धन (+) दिशा के विरुद्ध है, और इसलिये यह एक वोल्टता उत्कर्ष उत्पन्न करेगी, जिसको समीकार में ऋणात्मक (Negative) चिह्न दिया जायगा।

यह तथ्य ध्यान देने योग्य है, कि I_3 की धन (+) दिशा स्वेच्छ कल्पित (Arbitrarily Assumed) थी; और इसका कोई आश्वासन नहीं है कि धारा वास्तव में इसी दिशा में बह रही है। इसका एक ओर या दूसरी ओर बहना,

E_1 और E_2 के मान तथा परिपथ में रोधकों के मान पर निर्भर है। यदि अज्ञात धाराओं में से किसी का भी वास्तविक प्रवाह धन दिशा में नहीं है, तो समाधान में धारा का मान ऋणात्मक प्राप्त होगा। एक बार मान लेने के बाद सारे समाधान में धारा की मानी हुई धन (+) दिशा को संधारण करने में सावधानी रखनी चाहिये।

धारा तथा वोल्टता समीकारों को एकत्रित कर समाधान किया जाता है।

$$I_3 = I_1 - I_2 ; \quad E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3 ; \quad E_2 = R_2 I_2 - R_3 I_3$$

उदाहरण : चित्र 1-11 में दिए हुए परिपथ के, वोल्टता तथा रोध के मानों की निम्नलिखित धारणा करके R_1 और R_2 में प्रवाहित धारा निकालिये।

$E_1 = 50 \ V$ $\quad R_1 = 10$ ओम ; $\quad R_3 = 20$ ओम

$E_2 = 100 V$ $\quad R_2 = 15$ ओम

समाधान :

(१) परिपथ के लिये धारा और वोल्टता समीकारों को स्थापित कीजिये।

$$I_3 = I_1 - I_2, \quad E_1 = R_1 I_1 + R_3 I_3, \quad E_2 = R_2 I_2 - R_3 I_3$$

(२) स्थानापत्ति (Substitution) करके I_3 का निष्कासन कीजिये :

$$E_1 = R_1 \ I_1 + R_3 (I_1 - I_2), \ E_2 = R_2 I_2 - R_3 (I_1 - I_2)$$

(३) अज्ञात धाराओं के गुणक एकत्रित कर समीकारों को फिर से लिखिये।

$$E_1 = (R_1 + R_3) I_1 - R_3 I_2, \qquad E_2 = -R_3 I_1 + (R_2 + R_3) I_2$$

(४) वोल्टता तथा रोधों के सांख्यिक मान का स्थानापन्न करके समाधान करिये।

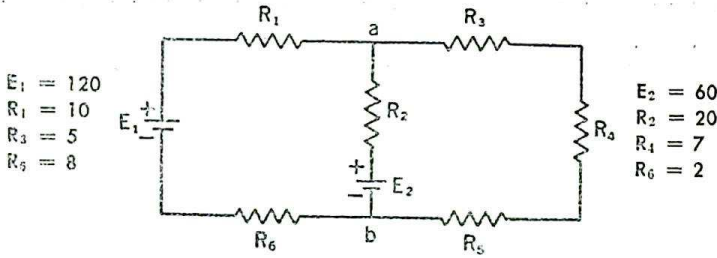
$$50 = 30 I_1 - 20 I_2, \quad 100 = -20 I_1 + 35 I_2$$

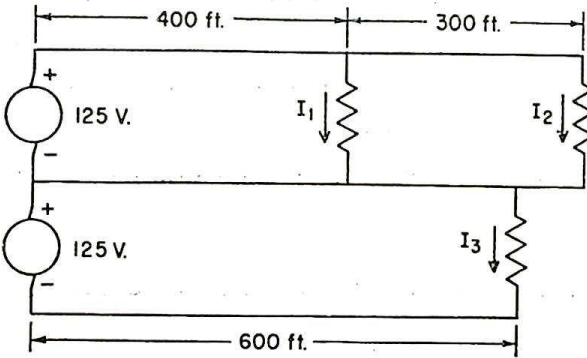
$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} 50 & -20 \\ 100 & 35 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 30 & -20 \\ -20 & 35 \end{vmatrix}} = 5{\cdot}76 \text{ अम्प०}$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 30 & 50 \\ -20 & 100 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 30 & -20 \\ -20 & 35 \end{vmatrix}} = 6{\cdot}15 \text{ अम्प०}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 5{\cdot}76 - 6{\cdot}15 = -0{\cdot}39 \text{ अम्प०}$$

यद्यपि, ऊपर वाले उदाहरण का समाधान निश्चायक (Determinant) के प्रयोग से किया गया है, तथापि युगपत् समीकारों के समाधान की किसी भी विधि का प्रयोग किया जा सकता था। परिणाम यह देशित करता है, कि I_3 की मानी हुई दिशा वास्तव में ग़लत थी और धारा कल्पित दिशा के उल्टी दिशा में बह रही थी।

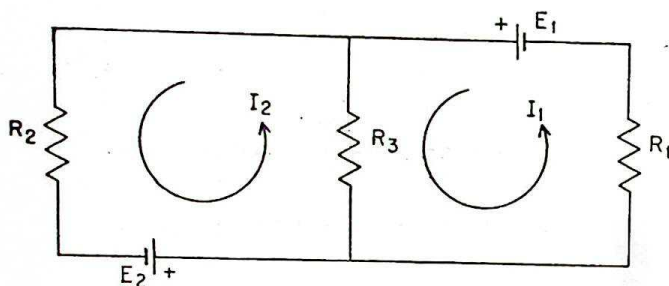
अभ्यास 1-24 : चित्र 1-12 में *a b* के सिरों पर वोल्टता निकालिये ?

चित्र 1-12 : **अभ्यास 1-24** का परिपथ

अभ्यास 1-25 : एक तीन तार वाला विभाजन तन्त्र (Three Wire Distribution System) दो १२५ वोल्ट के माला युजित जनित्रों द्वारा प्रदत्त है। (चित्र 1-13)। यदि सब विभाजन तार ताँबे के नम्बर 2 AWG के हों तो प्रत्येक भार के आरपार वोल्टता निकालिये।

चित्र 1-13—**अभ्यास 1-25 का परिपथ**

मैक्सवेल के अक्षि समीकार (Maxwells' Mesh Equations)

इन्हीं आधारभूत नियमों पर आधारित, समाधान की एक विकल्प विधि मैक्सवेल ने विकसित की, जो कि उनके नाम पर है। इस विधि में धाराओं का भिन्न प्रकार से अभिधान किया जाता है जिससे कि करशफ़ नियम विधि में धारा समीकारों का निरसन हो जाता है, और सीधे ही वोल्टता समीकर प्राप्त हो जाते हैं। बहुत से इंजीनियर इस विधि को अधिक पसन्द करते हैं, क्योंकि यह समाधान को काफ़ी सरल बना देती है।

इस विधि का निदर्शन करने के लिये, चित्र 1-11 के उसी परिपथ का प्रयोग किया जायगा परन्तु प्रत्येक पाशी में प्रवाहित धाराओं का I_1 तथा I_2 से अभिधान (Designation) किया जायगा।

यह अवलोकित होगा कि पाशी में धारा प्रवाह की धन (+) दिशा नीचे को होने पर, R_3 में धारा (I_1-I_2) होगी। यह, करशफ़ नियम के धारा समीकार में I_3 के मान से मिलती है।

चित्र 1-14 : **मैक्सवेल के अक्षि समीकार बनाने के लिये, दो पाशी वाला जालक्रम**

पहले की भाँति, पाशी 1 एवं 2 में वोल्टता समीकार स्थापित किये जाते हैं।

$$E_1=(I_1-I_2)R_3+I_1R_1 \;; \qquad E_2=(I_2-I_1)R_3+I_2R_2$$

अज्ञात धाराओं के गुणक एकत्रित करने पर निम्नलिखित समीकार बन जाते हैं।

$$E_1=(R_1+R_3)\,I_1-R_3I_2, \qquad E_2=-R_3I_1+(R_2+R_3)\,I_2$$

यह अवलोकित होगा, कि करशफ़ नियम विधि में I_3 का निरसन और अज्ञात धाराओं के गुणक एकत्रित करने के बाद प्राप्त समीकार, इन समीकारों के समान हैं। इस प्रकार मैक्सवेल के अक्षि समीकार करशफ़ समीकारों के केवल दूसरे रूप हैं।

अध्यारोपण का सिद्धान्त (Principle of Superposition)

कई वोल्टता वाले परिपथ में धारा का मान प्राप्त करने की एक अन्य विधि, निम्नलिखित सिद्धान्त पर आधारित है : **एक जटिल परिपथ के किसी तार में धारा, उस तार में स्वतन्त्र रूप से कार्य करती हुई विभिन्न वोल्टताओं द्वारा उत्पन्न हुई धाराओं के बीजीय योग के बराबर होती है। जब एक वोल्टता के कारण धारा निकालना विचाराधीन होता है, तब अन्य सब वोल्टता प्रभवों का लघु परिपथन कर दिया जाता है।** इसको पृष्ठ 24 पर निर्दशित उदाहरण का इसी विधि से समाधान करके समझाया जायगा।

उदाहरण : (1) चित्र 1-11 में कल्पना कीजिये, कि E_2 का लघु परिपथन हो गया है (Short Circuited) और केवल E_1 ही प्रभावी है। इस प्रकार R_2 और R_3 समानान्तर में होकर R_1 के साथ माला युजित हो जाते हैं।

(२) समानान्तर परिपथ का सम रोध :

$$\frac{R_2R_3}{R_2+R_3}=\frac{15\times20}{15+20} \quad =8{\cdot}56 \text{ ओम}$$

(३) कुल रोध$=8{\cdot}56+10=18{\cdot}56$ ओम

$$I_1'=\frac{50}{18{\cdot}56} \quad =2{\cdot}69 \text{ अम्प०}$$

$$I_2'=\frac{8{\cdot}6}{15}\times I_1'=1{\cdot}54 \text{ अम्प०}$$

$$I_3'=\frac{8{\cdot}6}{20}\times I_1'=1{\cdot}15 \text{ अम्प०}$$

(४) कल्पना कीजिये कि E_2 प्रभावी (Effective) है, और E_1 का लघुपरिपथन हो गया है। इस प्रकार R_2 और R_3 समानान्तर में होकर R_2 के साथ माला बद्ध हो जाते हैं।

(५) समानान्तर परिपथ का समरोध :

$$\frac{R_1R_3}{R_1+R_3}=\frac{10\times 20}{10+20} \quad =6{\cdot}66 \text{ ओम}$$

(६) कुल रोध$=6{\cdot}66+15=21{\cdot}66$ ओम

$$I_2''=\frac{100}{21{\cdot}66} \quad =4{\cdot}61 \text{ अम्प०}$$

$$I_1''=\frac{6{\cdot}66}{10}\times I_2''=3{\cdot}07 \text{ अम्प०}$$

$$I_3''=-\frac{6{\cdot}66}{20}\times I_2''= -1{\cdot}54 \text{ अम्प०}$$

(ध्यान दीजिये कि I_3'' के प्रवाह की दिशा, चित्र में कल्पित दिशा के विरुद्ध है, इसलिये यह ऋणात्मक धारा मान के रूप में प्रकट होती है।)

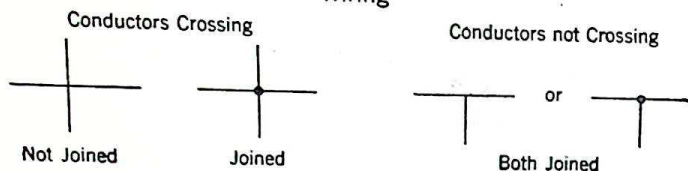
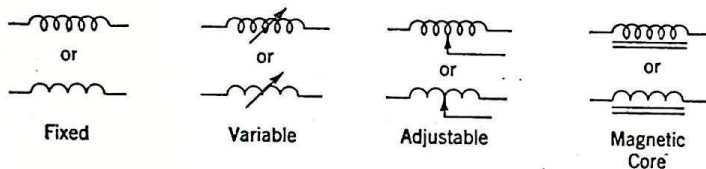
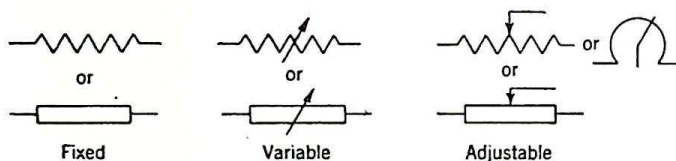
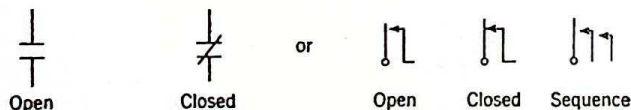
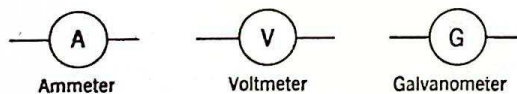
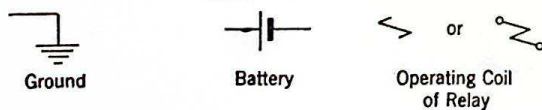
(७) परिपथ में दोनों वोल्टताओं की उपस्थिति में धारा का मान अलग-अलग धाराओं के बीजीय योग के बराबर है।

$$I_1=I_1'+I_1''=2{\cdot}69+3{\cdot}06=5{\cdot}75 \text{ अम्प०}$$
$$I_2=I_2'+I_2''=1{\cdot}54+4{\cdot}61=6{\cdot}15 \text{ अम्प०}$$
$$I_3=I_3'+I_3''=1{\cdot}15-1{\cdot}54= -0{\cdot}39 \text{ अम्प०}$$

यह देखा जाता है कि ये मान पहले प्राप्त किये मानों से मिलते हैं।

इस विधि का मुख्य लाभ यह है कि इसमें युगपत् समीकार को बनाने और समाधान करने की प्रविधि के ज्ञान की आवश्यकता नहीं है।

प्रतीक एवं लघु-रूपान्तर

अब तक जो परिपथ प्रयुक्त हुए हैं, वे इतने सरल थे कि उनमें भ्रम की संभावना नहीं थी। आगे के परिपथ रेखाचित्र (Circuit Diagrams) अधिक जटिल हैं, और इसलिये परिपथ अंशकों को आमापित चिह्नों द्वारा देशित किया जाता

चित्र 1-15 : सामान्य विद्युत् प्रतीक

है। चित्र 1-15 में दिखाए गए परिपथ प्रतीक, सामान्यतया प्रयोग किये जाने वाले चिह्नों को देशित करते हैं। तथापि, पाठक को वाणिज्यिक चिह्नों और रेखाचित्र कार्य-प्रणाली से अवगत कराने के लिये थोड़ा बहुत विचलन (Deviation) किया जा सकता है।

बहुत सी विद्युत राशियों के परिमाणों का विस्तार बहुत अधिक है; इस कारण बहुत-सी ऐसी छोटी और बड़ी इकाइयों का प्रयोग विस्तृत रूप से प्रचलित हैं, जो कि मूल इकाइयों की दशमिक भाग (Decimal Part) अथवा अपवर्त्य (Mutliples) हैं। पूर्व स्थित (Prefix) **मिलि** का अर्थ है: हज़ारवाँ भाग। उदाहरणार्थ, एक मिलि वोल्ट का अर्थ है: वोल्ट का हज़ारवाँ भाग। इसी प्रकार **माइक्रो** (Micro) का अर्थ है: दसलाखवाँ भाग (10^{-6}) किलो का अर्थ है: हज़ार। **मेगा** (Mega) का अर्थ है: दस लाख (10^{6})। इस प्रकार की इकाइयों का प्रयोग बहुत से विषम दशमिकों से बचाता है। फिर भी **यह स्मरण रखना आवश्यक है कि परिपथ नियम, ओम, वोल्ट और अम्पीयर पर आधारित हैं और परिपथ के समाधान के पहले दूसरी इकाइयों का इनमें परिवर्तन करना आवश्यक है।**

अरेखीय परिपथ अंशक (Nonlinear Circuit Elements)

वैरिस्टर (Varistors)

यद्यपि अधिकांश परिपथ अंशक, सामान्य इंजीनियरी विशुद्धता की सीमा के अन्दर, स्थिर रोध की धारणा के अनुसार होते हैं, तथापि बहुत से विशेष परिपथ अंशक ऐसे हैं, जिनका रोध प्रवाहित धारा के मान के मान के अनुसार घटता बढ़ता है। ऐसे अंशकों को अरेखीय कहा जाता है; क्योंकि आयत याम (Rectangular Co-ordinates) में वोल्टता और धारा का अंकन एक सरल रेखा में नहीं होता है। इनमें से बहुत से अरेखीय परिपथ अंशक अथवा **वैरिस्टर** आजकल प्रमुख वाणिज्यिक प्रयुक्तियों में प्रयोग किये जाते हैं।

दूसरा अध्याय

अयो-चुम्बकीय परिपथ

(FERROMAGNETIC CIRCUITS)

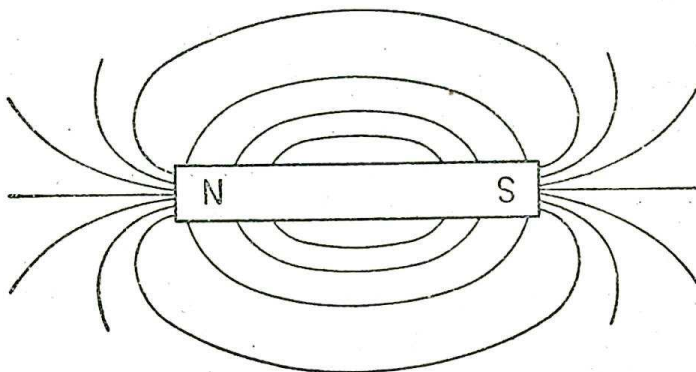
चुम्बकीय अवधारणायें (Magnetic Concepts)

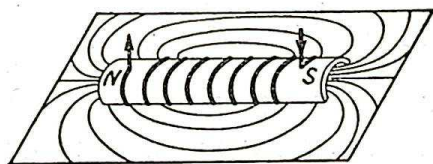
चुम्बकत्व की सरल घटनाओं से तो विज्ञान का प्रत्येक विद्यार्थी परिचित होता है, परन्तु चुम्बकीय क्रियाओं की विधि की पूर्ण जानकारी, अबतक भी उच्च शोध का विषय है। चुम्बकत्व, इलेक्ट्रॉनों के परिचलन से सम्बन्धित प्रतीत होता है। इलेक्ट्रॉन परिचलन, (Electron Movement) विद्युत् तारों में या लोहे अथवा दूसरे चुम्बकीय पदार्थों के अणुओं की कक्ष्याओं (Orbits) में, अथवा इनके अपने स्वयं के आभ्राम में हो सकता है।

यद्यपि नौतारण (Navigation) में, चुम्बकों के दिग्घटी (Compass) के पुरातन प्रयोग से, प्रत्येक स्कूल विद्यार्थी परिचित होगा ; किन्तु चुम्बकों के आधुनिक प्रयोग इतने सुपरिचित नहीं हैं। चुम्बकीय, और संवाहक एवं विसंवाहक पदार्थ, विद्युत् उद्योग की आधारभूत सामग्री हैं। प्रतिवर्ष खपत होने वाले लाखों टन चुम्बकीय पदार्थों का अधिकांश भाग मोटरों (Motors), जनित्रों (Generators) और परिवर्तकों (Transformers) में प्रयोग होता है। उद्योग को भी, बहुत सी विद्युत्-चुम्बकीय युक्तियों की आवश्यकता होती है : जैसे रिले (Relay), चक (Chuck), युग्मक (Coupling), उपकरण (Instruments) तथा अन्य मापन (Measuring) और नियंत्रण (Controlling) युक्तियाँ। उपयोगी चुम्बकीय पदार्थ या तो सरलता से चुम्बकित और विचुम्बकित (Demagnetized) हो जाते हैं ; अथवा स्थायी चुम्बक होते हैं जो कठिनता से चुम्बकित (Magnetize) होते हैं परन्तु अपने चुम्बकत्व का प्रतिधारण करते हैं।

चुम्बकीय पदार्थ के किसी भी प्रवाह का कोई निर्णयात्मक साक्ष्य (Conclusive Evidence) **नहीं है।** किन्तु इलेक्ट्रॉन की खोज के पहले, विद्युत् द्रव के प्रवाह की धारणा ने विद्युत् परिपथ सिद्धान्त के विकास में बहुत सहायता दी है ; इसलिये हम विद्युत् मशीनों में चुम्बकीय प्रभाव को सरलता पूर्वक समझने के लिये, चुम्बकीय स्यंद अथवा प्रवाह की धारणा का प्रयोग करते रहे हैं।

चुम्बकों के निष्पादन (Performance) का पर्यालोचन करने के लिये चुम्बकीय क्षेत्र के परिमाण तथा दिशा (Magnitude and Direction), दोनों को निरूपण (Represent) करने वाली विधि का ज्ञान होना आवश्यक है। प्राचीन विज्ञान-वेत्ताओं (Scientists) द्वारा स्वीकृत एक विधि अब

भी सामान्य प्रयोग में है। क्षेत्र की दिशा को, चुम्बक के चारों ओर छिटकाये हुए लौह-चूर्ण (Iron-filings) द्वारा अपनाए हुए रैखिकीय पथ से देशित किया जाता है। एक दण्ड चुम्बक (Bar-magnet) के लिये रेखाओं का यह क्रम चित्र 2-1 में दिखाया गया है। यह देखा जाता है, कि ध्रुवों पर जहाँ चुम्बकीय प्रवाह सबसे अधिक होता है, वहाँ रेखायें सबसे अधिक संख्या में होती हैं।

चित्र 2-1 : **एक दण्ड चुम्बक का चुम्बकीय क्षेत्र**

विकल्प कथनानुसार, रेखाओं के लम्ब तल (Perpendicular Plane) में रेखाओं का प्रति इकाई क्षेत्रफल घनत्व (Density Per Unit Area) अधिकतम होता है। इस प्रकार रेखाओं का घनत्व अथवा स्यंद घनत्व (Flux Density) चुम्बकीय प्रवाह के माप के रूप में प्रयोग होता है। यह हवा में, चुम्बकीय चंडता (Magnetic Intensity) की भी माप है। चित्र 2-2 में एक कुंडल दिखाया गया है जिसमें स्यंद रेखायें चित्र 2-1 के स्थायी चुम्बक के समान हैं। यदि कुंडल में धारा दुगुनी कर दी जाय, तो चुम्बकीय चंडता भी दुगनी हो जायगी। यदि धारा उतनी ही रहे, परन्तु वर्तों की संख्या दुगनी कर दी जाय, तब भी चुम्बकीय चंडता इसी प्रकार दुगनी हो जायगी। यदि धारा एवं वर्त ही दुगने कर दिये जायँ तो चुम्बकीय चंडता पहले से चौगुनी हो जायगी। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि हवा में चुम्बकीय चंडता अथवा स्यंद घनत्व, विद्युत धारा (अम्पीयर में) और वर्तों की संख्या के गुणा के समानुपाती होता है। इसलिये बहुत से विद्युत् समनुविधाताओं (Designers) द्वारा चुम्बकीय कारण अथवा चुम्बक गामक बल (Magnetomotive Force) के मापन में प्रयोग की जाने वाली इकाई **अम्पीयर वर्त** (Ampere-turn) है।

चित्र 2-2 : **धारा वहन करते हुए एक संवाहक के चारों ओर चुम्बकीय क्षेत्र**

लोहा तथा उसके बहुत से मिश्रातु चुम्बकीय-प्ररोचन (Magnetic Induction) के लिये इतने अनुहृष (Susceptible) होते हैं कि वे चुम्बकीय प्रभाव को सकेन्द्रित और पथ प्रदर्शन करने के लिये विस्तृत रूप से प्रयोग किये जाते हैं। इस रूप में, अच्छे संवाहक, विद्युत् के लिये जिस प्रकार कार्य करते हैं; उसी प्रकार लोहा और इस्पात चुम्बकत्व के प्रति कार्य करते हैं। चूंकि एक अम्पीयर-वर्त, [अथवा चुम्बक गामक बल (चु० गा० ब० = *m.m.f.*) की इकाई] लोहे में हवा की अपेक्षा कितने ही शतों से लेकर कितने ही हजार गुना स्यंद उत्पन्न करेगा; इसलिये लोहे को चुम्बकत्व का अच्छा संवाहक कहा जाता है। चुम्बकत्व के अधिकतर वाणिज्यिक उपयोगों में लोहे का एक ऐसा परिपथ निहित होता है, जो कि एक छोटे से वायु-विच्छद (Airgap) को छोड़कर लगभग सम्पूर्ण (Complete) होता है। अधिकांश चुम्बकीय समस्याओं में, अरेखीय परिपथ अंशकों (Nonlinear Circuit Element) वाले विद्युत् परिपथ के समान ही परिपथ अन्तर्हित होता है। कोई भी चुम्बकीय विसंवाहक ज्ञात न होने के कारण, सदैव ही काफ़ी मात्रा में स्यंद का च्याव (Leakage) होता रहता है। इस कारण, यदि संगणना की विशेष विधियाँ प्रयोग नहीं की गई हों, तो गणन में उपागण्य अशुद्धियाँ हो सकती हैं। मोटरों और जनित्रों के प्रवर्तन लक्षणों (Operating Characteristics) को समझने के लिये और आधुनिक उद्योग में प्रयुक्त रिले (Relay), मीटर और नियंत्रण युक्तियों (Control Devices) के समायोजन (Adjustment) तथा संधारण (Maintain) करने के लिये सरल चुम्बकीय परिपथों का अध्ययन अपेक्षित है।

चुम्बकीय इकाइयाँ (Magnetic Units)

चुम्बकीय राशियों को ऐसी इकाइयों में मापा जाता है, जिनमें से बहुतों के विशिष्ट (Distinctive) नाम हैं। भौतिक विज्ञान के अध्ययन में इन इकाइयों तथा उनके सम्बन्धों को *CGS* अथवा *MKS* प्रणालियों के अनुसार परिभाषित किया जाता है। अमेरिका में बहुत से समनुविधाता कुछ भिन्न इकाइयों के क्रम को प्रयोग करते हैं, जो कि मापन की इकाई में अंग्रेजी इंच पर आधारित हैं। तालिका 2-1 में इकाइयों के विभिन्न क्रमों के सम्बन्ध को दिखाया गया है। इस तालिका से आवश्यकतानुसार परिवर्तन-गुणक (Conversion Factor) विकसित किये जा सकते हैं।

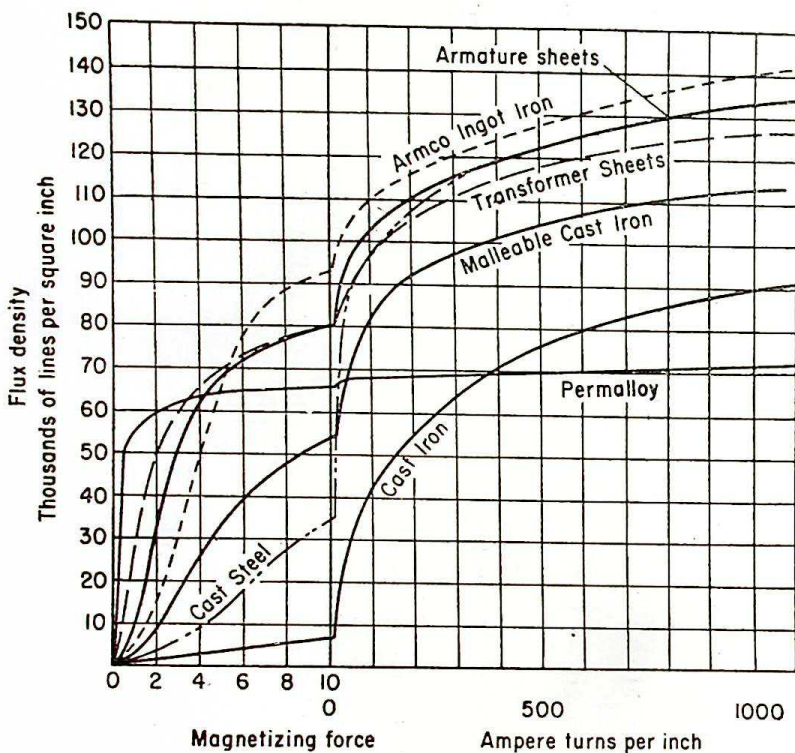
इकाइयों की इस जटिलता ने, चुम्बकीय समस्याओं की वस्तुतः सरल विधियों को कठिन बना दिया है। इस पुस्तक में नरम लोहे (Soft Iron) अथवा विद्युत्-स्तार (Electrical Sheets) का प्रयोग करने वाले अधिकांश चुम्बकीय परिपथों के लिये, अंग्रेजी अथवा व्यवहारिक इकाइयाँ प्रयोग की जाँयगी; क्योंकि इन्जीनियर, सामान्यतया, इन्हीं इकाइयों का प्रयोग कर समस्याओं का समाधान

तालिका 2-1

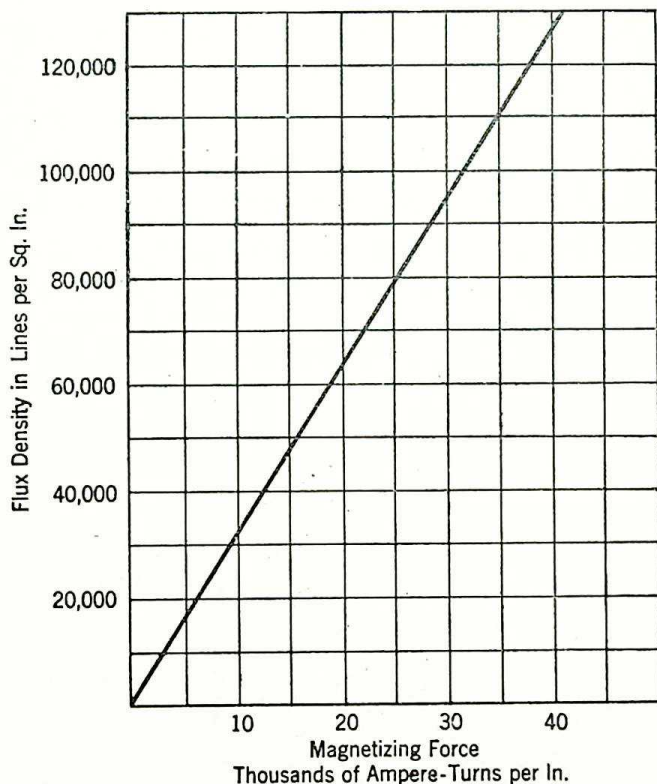
Quantity	Symbol	MKS Units	CGS Units	English Practical Units
Magnetomotive force	$\mathfrak{F}$	Pragilbert $4\pi NI$	Gilbert $0.4\pi NI$	Ampere-turn NI
Magnetizing force (field intensity)	H	Pragilberts per meter	Oersteds (gilberts per centimeter)	Ampere-turns per inch
Magnetic flux	ϕ	Weber (10^8 maxwells)	Maxwell (or line)	Maxwell (or line)
Magnetic induction (flux density)	B	Webers per square meter	Gauss (maxwells per square centimeter)	Maxwells (or lines) per square inch
Permeability	$\mu = \frac{B}{H}$	$\mu = \mu_0\mu_r$* $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$	$\mu = \mu_0\mu_r$ $\mu_0 = 1$	$\mu = \mu_0\mu_r$ $\mu_0 = 3.19$

* जहाँ μ_0= विशिष्ट इकाई क्रम में वरिमा (space) की अतिवेध्यता

μ_r= आपेक्षिक अतिवेध्यता अथवा विचाराधीन पदार्थ में तथा हवा में, समान क्षेत्र चंडता के लिये स्यंद घनत्व का अनुपात

करते हैं। स्थायी चुम्बकों के लिये सामान्यतः, *CGS* अथवा *MKS* प्रणालियों में, समस्याओं का समाधान तथा न्यास को प्रस्तुत किया जाता है। इन चुम्बकीय राशियों की यथारूप परिभाषा जानने के लिये, विद्यार्थी भौतिक विज्ञान की किसी भी अच्छी पुस्तक की सहायता ले सकता है।

चित्र 2-3 : **प्रारूपिक चुम्बकन वक्र**

चुम्बकन वक्र (Magnetization Curves): अरेखीय परिपथ अंशकों के लक्षण ऐसे वक्रों द्वारा सबसे अच्छी तरह दिखाये जा सकते हैं जो धारा और वोल्टता अथवा चुम्बकीय दबाव और चुम्बकीय स्यंद के सम्बन्ध को देशित करते हैं। चित्र 2-3 में कुछ चुम्बकीय पदार्थों के प्रारूपिक (Typical) वक्र दिखाये गये हैं। चुम्बकीय स्यंद रेखायें प्रति वर्ग इंच में देशित हैं और चुम्बक गामक बल को, वक्र द्वारा देशित स्यंद घनत्व उत्पन्न करने के लिये चुम्बकीय परिपथ की प्रति इंच लम्बाई के लिये अपेक्षित अम्पीयर-वर्तों द्वारा दिखाया गया है। उदाहरणार्थ, व्यंगारित लौह (Wrought Iron) में 100,000 रेखायें प्रति वर्ग इंच का स्यंद उत्पन्न करने के लिये 30 अम्प० वर्त प्रति इंच की आवश्यकता होगी। यदि 10 इंच लम्बे तथा 2 वर्ग इंच के अनु० छे० क्षे० वाले एक दण्ड को इस स्यंद घनत्व के ऊपर चुम्बकन करना हो, तो इसके लिये $30 \times 10 = 300$ अम्प० वर्त की आवश्यकता होगी। दण्ड के अन्दर कुल स्यंद,

अनु० छे० क्षे० तथा स्यंद घनत्व के गुणन फल (Product) के बराबर होगी। अर्थात् $2 \times 100{,}000 = 200{,}000$ रेखायें। वास्तव में शेष चुम्बकीय परिपथ में होने वाले चुम्बक गामक बल के पात को प्रदाय (Supply) करना भी आवश्यक है; किन्तु उस चु० गा० ब० के परिमाण की गणना अलग से की जा सकती है।

चित्र 2-4 : **वायु विच्छद चुम्बकन वक्र**

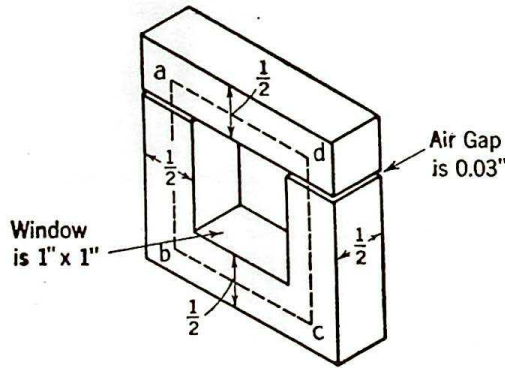
वायु विच्छद में चुम्बकीय स्यंद (Magnetic Flux in the Air Gap): हवा तथा दूसरे विचुम्बकीय (Non-magnetic) पदार्थों में अभिस्पन्दित (Polarized) परमाणु नहीं होते (जैसा अगले परिच्छेद में समझाया जायगा); इसलिये, इनमें चुम्बकीय स्यंद को उत्पन्न करने के लिये, लोहे की अपेक्षा, चुम्बकीय परिपथ की प्रति एकक लम्बाई पर, अधिक चुम्बक गामक बल की आवश्यकता होती है। साथ ही, इनमें स्यंद, चु० गा० ब० की समानुपाती होती है। इसलिये चुम्बकन वक्र एक सरल रेखा (Straight Line) होती है और निम्नलिखित समीकार द्वारा देशित की जाती है:

$$NI \text{ प्रति इंच} = 0{\cdot}313B$$

जिसमें N वर्त-संख्या, I धारा (अम्प० में) तथा B स्यंद-घनत्व प्रति वर्ग इंच में है।* यह वक्र चित्र 2-4 में अंकित है।

सरल चुम्बकीय परिपथों के गणन

अब सरल चुम्बकीय परिपथों में, निर्धारित स्यंद उत्पत्ति के लिये आवश्यक चुम्बक-गामक-बल की संगणना की जा सकती है। इसकी विधि इस प्रकार है: पहले परिपथ में प्रत्येक माला अंशक के लिये आवश्यक चु० गा० ब० को अलग-अलग निकाला जाता है; तत्पश्चात् कुल बल निकालने के लिये संघटक (Component) भागों को जोड़ दिया जाता है। (यह सरल विद्युत् परिपथ में एक विशिष्ट धारा वहन करने के लिये आवश्यक वोल्टता निकालने के तदनुरूप है।) यह विधि निम्नलिखित उदाहरण द्वारा दर्शित की जायगी।

उदाहरण: चित्र 2-5 में दिखाए चोक कुंडल (Choke Coil) के आन्तरक में 20000 रेखाओं की चुम्बकीय स्यंद उत्पन्न करने के लिये कितने अम्पीयर-वर्तों की आवश्यकता होगी? आन्तरक, अर्मेचर वर्ग (Armature Grade) के विद्युत् इस्पात स्तार (Electrical Sheet Steel) का बना है।

चित्र 2-5 : **उदाहरण का चुम्बकीय परिपथ**

समाधान: (१) चुम्बकीय पथ का अनु० छे० क्षे० $= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ वर्ग इंच,

(२) कुल स्यंद को अनु० छे० क्षे० से भाग देने पर स्यंद घनत्व प्राप्त होता है, जो $= 20000 \div \frac{1}{4} = 80000$ रेखा/वर्ग इंच,

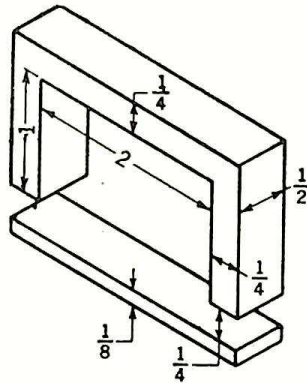
---

* भौतिक विज्ञान की अधिकांश पुस्तकों में यह समीकार इस रूप में दिया जाता है: $B = H = \frac{4\pi NI}{10}$ प्रति सेंटीमिटर; जिसमें $\frac{4\pi NI}{10}$ गिल्बर्ट (Gilbert) में चु० गा० ब० है और H ओरस्टेड (Oersted) में चुम्बकीय क्षेत्र चंडता है, जो वायु में सांख्यिक रूप से गॉस (Gauss) में स्यंद घनत्व के बराबर है। अंग्रेजी इकाइयों में बदलने पर यह समीकार NI (प्रति इंच) $= 0{\cdot}313B$ हो जाता है।

(३) आर्मेचर स्तार (Armature Sheet) में इस स्यंद घनत्व को उत्पन्न करने के लिये आवश्यक चु० गा० ब० 10 अम्प० वर्त प्रति इंच के बराबर है। (चित्र 2-3 से)

(४) रेखाओं का मध्यक पथ (Mean Path) चित्र 2-5 में बिन्दुकित रेखा *a b c d* द्वारा दिखाया गया है। लौह परिपथ के निचले भाग में परिपथ की लम्बाई *a* से *b* तक $1\frac{1}{4}$ इंच, *b* से *c* तक $1\frac{1}{2}$ इंच और *c* से *d* तक $1\frac{1}{4}$ इंच है। कुल योग 4 इंच है और आवश्यक चु० गा० ब०$=4\times10=40$ अम्प० वर्त।

लौह परिपथ के ऊपरी भाग में पथ की लम्बाई *d* पर $\frac{1}{4}''$, *d* से *a* तक $1\frac{1}{2}''$, और *a* पर $\frac{1}{4}''$ है। इस प्रकार कुल योग $\frac{1}{4}+1\frac{1}{2}+\frac{1}{4}=2$ इंच है। क्योंकि इस भाग मे भी स्यंद घनत्व उतना ही है जितना कि निचले भाग में, इसलिये इसका चु० गा० ब०$=2\times10=20$ अम्प० वर्त।

परिपथ के विद्युत् इस्पात स्तार वाले भाग के प्रतियास (Reluctance) को अभिभूत करने के लिये आवश्यक अम्प० वर्त $=40+20=60$.

चित्र 2-6 : **अभ्यास 2-2 का चुम्बकीय परिपथ**

(५) वायु विच्छद में 80,000 रेखा प्रति वर्ग इन्च का स्यंद घनत्व है।

(६) वायु में इस स्यंद घनत्व को उत्पन्न करने वाला चु० गा० ब० 25000 अम्पीयर वर्त प्रति इंच है। (चित्र 2-4)

(७) वायु विच्छद की लम्बाई 0·03 इंच है। प्रत्येक वायु विच्छद में अम्पीयर वर्त$=25000\times0{\cdot}03=750$.

(८) दोनों वायु विच्छद मालाबद्ध हैं। इसलिये वायु में अपेक्षित कुल अम्प० वर्त$=2\times750=1500$.

(९) अपेक्षित कुल अम्प० वर्त हवा तथा इस्पात में अम्प० वर्तों के योग के बराबर है

$1500+60=1560$ अम्प० वर्त **(उत्तर)**

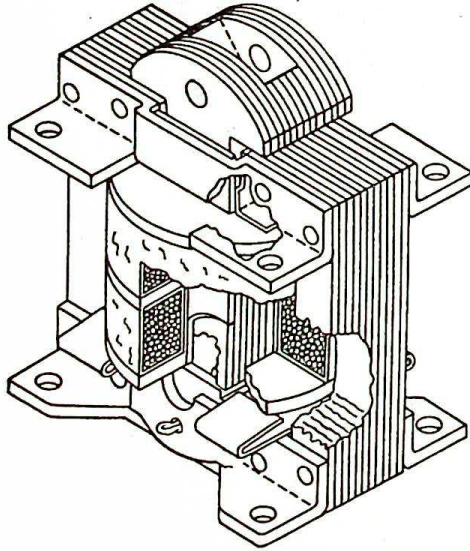
अभ्यास 2-1 : उपर्युक्त अभ्यास के चुम्बकीय परिपथ में 100,000 और फिर 25,000 रेखायें उत्पन्न करने के लिये आवश्यक अम्पीयर वर्त निकालिये। संगणित की हुई तीनों राशियों के लिये, कुल स्यंद के विरुद्ध अपेक्षित अम्पीयर वर्तों का वक्र अंकित कीजिये।

अभ्यास 2-2 : चित्र 2-6 में दिखाए गए रिले (Relay) के चुम्बकीय परिपथ में 6000 रेखाओं का स्यंद उत्पन्न करने के लिये कितने अम्प० वर्तों की आवश्यकता होगी ? [यदि आन्तरक आर्मको (Armco) लौह का बना हो।]

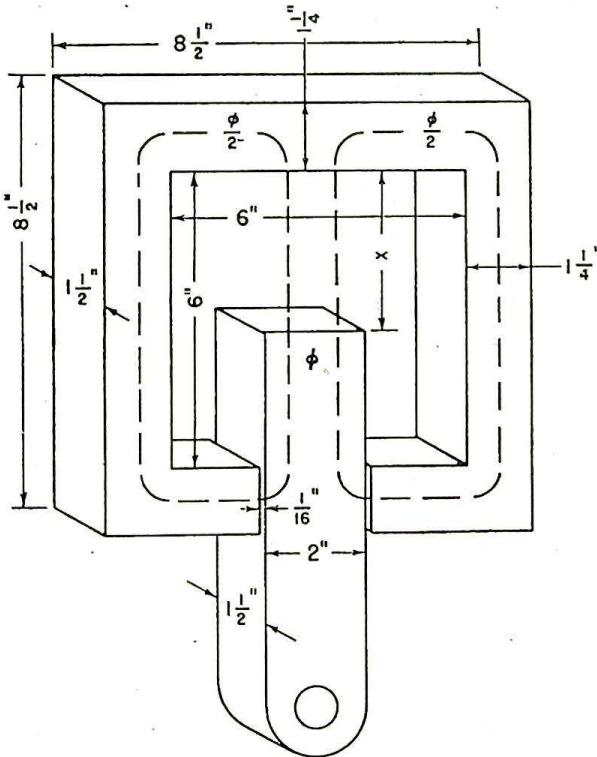
विद्युत् चुम्बकों का कर्ष (Pull of Electromagnets)

विद्युत् चुम्बक का अपने आर्मेचर (Armature) के प्रति कर्ष, अधिकांश विद्युत् नियंत्रक रिले तथा और दूसरी युक्तियों के प्रवर्तन का आधार है। यह कर्ष, स्यंद घनत्व के वर्ग के और वायु विच्छद के क्षेत्रफल के समानुपाती है। इस कर्ष को व्यक्त करने वाला समीकार यह है :

$$P=1{\cdot}38\ B^2A\times10^{-8} \text{ पौंड}$$

जहाँ P पौंड में कर्ष, B रेखायें प्रति वर्ग इन्च में स्यंद-घनत्व और A वायु विच्छद का वर्ग इन्च में क्षेत्रफल देशित करते हैं। चूंकि कर्ष, स्यंद घनत्व के वर्ग के समानुपाती है, इसलिये यह आवश्यक है कि इस राशि को, चुम्बकीय परिपथ के लोहे या इस्पात को बिना अनुवेधन (Saturation) तक लेजाऐ यथासंभव ऊँचा रक्खा जाय।

चित्र 2-7 : **संकर्षी चुम्बक का वाणिज्यिक प्ररूप**

विद्युत् चुम्वकों का कर्ष, इन्जीनियरी में वहुत से उपयोगों में प्रयोग होता है और यहाँ पर केवल कुछ को ही निर्दशित किया जा सकता है। वाणिज्यिक रूप में

प्राप्त होने वाले सबसे सामान्य प्ररूपों में से एक संकर्षी चुम्बक (Tractive Magnet) होता है। यह किसी निर्धारित दूरी तक एक निश्चित कर्ष का प्रावधान करता है। चित्र 2-7 में एक ऐसे संकर्षी चुम्बक को दिखाया गया है और तत्सम्बन्धी चुम्बकीय परिपथ का वैमिक आरूप (Dimensional Sketch) चित्र 2-8 में दिखाया गया है। यह चलन अंशक (Movable Element) कुंडल के केन्द्र में से चुम्बकीय परिपथ को पूर्ण करता है, और वायु विच्छदों में चलन अंशक के पार्श्व में एक छोटा विच्छद तथा सिरे पर एक बड़ा विच्छद दोनों ही अन्तर्निहित हैं। मज्जक (Plunger) के दोनों तरफ की स्यंद लगभग बराबर होती है; और बल (Forcc). इस प्रकार संतुलित हो जाते हैं। परन्तु मज्जक के सिरे की स्यंद एक असंतुलित बल उत्पन्न करती है, और यह **चुम्बक का संकर्षी कर्ष उत्पन्न करता है।** ऐसे संकर्षी चुम्बक के चुम्बक बल की संगणना, निम्नलिखित उदाहरण में निर्दशित की गई है। इससे समानान्तर चुम्बकीय पथों वाले चुम्बकीय परिपथ का अध्ययन भी किया जा सकता है।

चित्र 2-8 : **चित्र 2-7 का सरल चुम्बकीय परिपथ**

उदाहरण : चित्र 2-8 में दिखाये गये संकर्षी-चुम्बक में 50 पौंड का कर्ष उत्पन्न करने के लिए, आवश्यक अम्प० वर्त निकालिये, जब कि दूरी $x=2''$.

समाधान

(१) वायु विच्छद में अपेक्षित स्यंद घनत्व निकालिये।

$$\text{कर्ष} = 1{\cdot}38B^2A \times 10^{-8} \text{ पौंड}$$

$$A = 2 \times 1\tfrac{1}{2} = 3 \text{ वर्ग इंच और कर्ष} = 50 \text{ पौंड}$$

$$\therefore \quad 50 = 1{\cdot}38B^2 \times 3 \times 10^{-8}$$

$$\therefore \quad B^2 = \frac{50 \times 10^8}{3 \times 1{\cdot}38} = 12{\cdot}06 \times 10^8$$

$$\therefore \quad B = 34800 \text{ रेखा प्रति वर्ग इंच}$$

(२) मुख्य वायु विच्छद में अपेक्षित स्यंद को वाध्य करने वाले अम्प० वर्त निकालिये।

$$NI = 2 \times 0{\cdot}313B$$
$$= 2 \times {\cdot}313 \times 34800$$
$$= 21800 \text{ अम्प० वर्त}$$

(३) द्वितीयक (Secondary) वायुविच्छद के लिये अपेक्षित अम्प० वर्त निकालिये।

क्योंकि प्रत्येक द्वितीयक विच्छद को, केवल आधी स्यंद ही पार करती है; इसलिय पथ में स्यंद :

$$\phi = \frac{B \times A}{2} = \frac{34800 \times 3}{2} = 52100$$

$$\text{स्यंद घनत्व } B' = \frac{\phi}{A'} = \frac{52100}{1{\cdot}5 \times 1\frac{1}{4}} = 27800 \text{ होगा}$$

$$\therefore \quad NI = \frac{1}{16} \times {\cdot}313B = \frac{{\cdot}313 \times 27800}{16} = 545 \text{ अम्प० वर्त}$$

(४) परिपथ के लौह भाग के लिये (जो आर्मेचर वर्ग के इस्पात स्तारों का बना है) अपेक्षित अम्प० वर्त निकालिये। चूंकि पार्श्व के चुम्बकीय पथ में वस्तुतः दो समानान्तर पथ हैं, जिनमें से प्रत्येक में आधी स्यंद होती है; इसलिये प्रत्येक पथ में स्यंद 52,100 रेखायें है, और इसका घनत्व द्वितीयक वायु विच्छद के स्यंद घनत्व के बरावर है (क्योंकि क्षेत्रफल बराबर है)। चित्र 2-3 के वक्र से ज्ञात होता है कि 27,800 घनत्व पर प्रति इंच अम्प० वर्त लगभग 1 है। चूंकि प्रत्येक पथ की लोहे में लम्बाई लगभग 15 इंच है, इसलिये लोहे के लिये (मज्जक को छोड़कर) कुल अम्प० वर्त $= 1 \times 15 = 15$ होंगे। इसके बाद मज्जक (Plunger) के लिये अपेक्षित अम्प० वर्त निकाले जाते हैं। मज्जक में स्यंद घनत्व, मुख्य वायु विच्छद के स्यंद घनत्व के बराबर है, जो 34,800 है। मज्जक में परिपथ की लम्बाई लगभग 5 इंच है। चित्र 2-3 के वक्र से ज्ञात

होगा कि 34,800 घनत्व पर प्रति इंच अम्प० वर्त 1 से थोड़ा अधिक है। इसलिये मज्जक के लिये अपेक्षित अम्प० वर्त $=1\times5=5$ होंगे।

लोहे के लिये कुल चु० गा० ब० इन दोनों अम्प० वर्तों के योग के बराबर होगा अर्थात् $15+5=20$ अम्प० वर्त।

(5) अब कुल स्यंद को उत्पन्न करने के लिये आवश्यक अम्प० वर्त निकालिये।

चूंकि स्यंद पथ समानान्तर में हैं, इसलिये कुल चु० गा० ब० स्यंद को एक पथ में से वाध्य करने के लिये अपेक्षित बल के बराबर ही होगा,

$$NI=21800+545+20$$

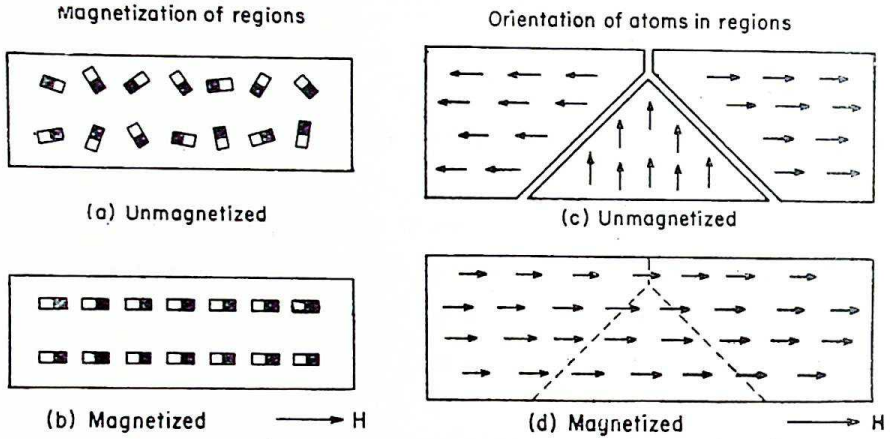
$$=22365.,$$ अथवा लगभग 22400 अम्प० वर्त।

अभ्यास 2-3 : उपर्युक्त उदाहरण में अपेक्षित धारा एवं वोल्टता का मान निकालिये, यदि चु० गा० ब०, 14 नम्बर तार के 2000 वर्त वाले कुंडल द्वारा प्रदत्त हो। प्रत्येक वर्त की औसत लम्बाई 14 इंच है।

अयो चुम्बकीय सिद्धान्त (Ferromagnetic Theory)

यह देखा जा चुका है कि इन्जीनियरी समनुविधान की समस्याओं में नरम लोहे (Soft Iron) तथा इस्पात को अरेखीय चुम्बकीय परिपथ अंशक (Non-linear Magnetic Circuit Elements) समझा जा सकता है। यद्यपि ये विधियाँ, [ऐसी परिष्कृतियों (Refinements) के साथ जो कि विशिष्ठ समस्या के लिये अपेक्षित हों] इन्जीनियरी समनुविधान में प्रयुक्त होने वाली विधियाँ हैं, परन्तु तब भी यह समझ लेना चाहिये कि चुम्बकन वक्र एक-मान (Single Valued) वक्र नहीं है और नरम लोहे के लिये भी केवल उपसादित (Approximate) मान ही निरूपित करते हैं। चुम्बकीय परिपथ की संगणनाओं की परिसीमाओं को समझने के लिये तथा स्थायी चुम्बकों को बुद्धिमत्ता से निर्धारित करने के लिये अयो-चुम्बकीय सिद्धान्तों की आधारभूत अवधारणाओं (Fundamental Concepts) की पूर्ण रूप से विवेचना करना आवश्यक है।

यह बतलाया जा चुका है, कि आधुनिक चुम्बकीय वाद (Theory) सभी चुम्बकीय प्रभावों को इलेक्ट्रॉनों के परिचलन से संयवित करता है। लोहे के चुम्बकीय लक्षण लोहे के परमाणु के किसी एक काक्ष्यिक समूह के कुछ इलेक्ट्रॉनों के असंतुलित आभ्राम के परिणाम प्रतीत होते हैं। लोहे के परमाणु का यह चुम्बकीय गुण, समीपवर्ती परमाणुओं को, बहुत छोटे-छोटे स्थायी चुम्बकों के रूप में एकरेखण (Align) कर देता है; जिनको मंडल (Domain) कहते हैं। (चित्र 2-9 देखिये)। ये मंडल आकार में बहुधा अनियमित होते हैं परन्तु घनाकार लौह स्फट (Cubical Iron Crystal) के तीन अक्षों में से किसी एक के साथ एकरेखित हो जाते हैं। तथापि, ऐसे बल जो प्रकृति में अन्तर-

परमाण्विक (Inter-atomic) होते हैं, मण्डलों की चुम्बकीय दशा में किसी भी परिवर्तन का विरोध करते हैं। इन बलों में सामान्य प्रतिरोध बलों के लक्षण होते हैं और ये लक्षण स्थैतिक प्रतिरोध (Static Friction) के समान होते हैं। एक अकेले मण्डल का एकरेखण (Alignment) करने के लिये कुछ न्यूनतम

चित्र 2-9 : **अयो-चुम्बकीय पदार्थों के आण्विक तथा प्रादेशिक लक्षण**

चुम्बकीय क्षेत्र बल की आवश्यकता होती है। परन्तु इस मानपर पहुँचने पर वह मण्डल एकाएक चुम्बकीय एकरेखण में बद्ध हो जाता है; जैसा चित्र 2-9 (d) में देशित किया गया है। जैसे-जैसे चुम्बक गामक बल अथवा क्षेत्र बल (Field Strength) बढ़ाया जाता है, एक के बाद दूसरे मण्डल अनुस्थापित होते जाते हैं और चुम्बकीय स्यंद क्रमशः बढ़ती चली जाती है। जब सब मण्डल अनुस्थापित हो जाते हैं, तब पदार्थ को अनुबिद्ध (Saturated) हुआ कहा जाता है।

इन परमाण्विक (Atomic) बलों का प्रतिरोध गुण, इस मण्डली को एकरेखण में बद्ध रखने, तथा चुम्बक बनाने में प्रयत्नशील रहता है। इस प्रकार, किसी दिये हुए चुम्बकीय क्षेत्र बल के लिये चुम्बकीय स्यंद, क्षेत्र बल की घटती हुई अवस्था की अपेक्षा बढ़ती हुई अवस्था में, काफी अधिक होती है। इसलिये चुम्बकन वक्र एकमान नहीं होते हैं; वरन् किसी भी निर्धारित क्षेत्र बल के मान पर तत्सम्बन्धी स्यंद घनत्व, पूर्व स्यंद मान पर निर्भर करता है। अयो चुम्बकीय पदार्थों में यह प्रतिरोध घटना मन्दायन (Hysterisis) कहलाती है।

मन्दायन पाशियाँ (Hysterisis Loops)

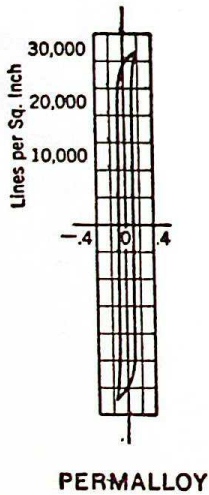
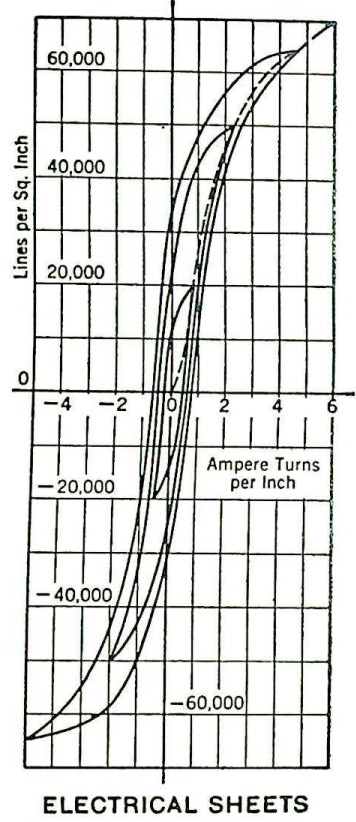
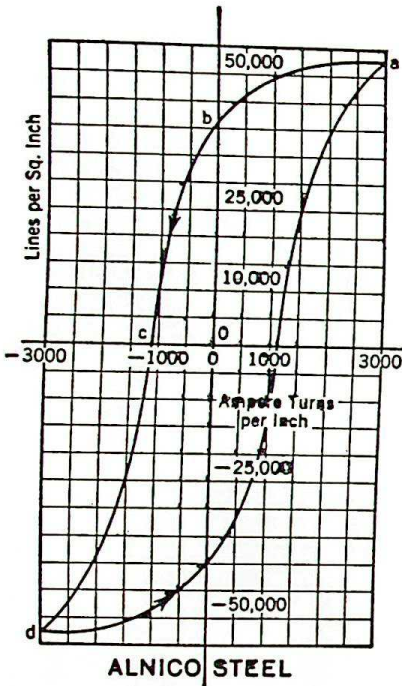
चूंकि विद्युत् मशीनों में प्रयोग होने वाले अधिकांश चुम्बकीय पदार्थों का आरोपित चु० गा० ब० लगातार बदलता रहता है, इसलिये मन्दायन को एक वक्र से निर्धारित किया जाता है। यह वक्र चुम्बक गामक बल के विचरण के

साथ, तत्सम्बन्धी चुम्बकीय स्यंद घनत्व के मान को देशित करता है। स्यंद घनत्व, अधिकतम धनात्मक मान से शून्य, शून्य से अधिकतम ऋणात्मक मान तथा पुनः शून्य और फिर अधिकतम धनात्मक मान तक विचरण करता है। ऐसा वक्र मन्दायन पाशी (Hysterisis Loops) कहलाता है और पदार्थ के लक्षणों को पूर्णतः देशित करता है।

चित्र 2-10 में बहुत से विभिन्न पदार्थों की मन्दायन पाशियाँ दिखाई गई हैं जो अध्ययन के प्रारंभिक आधार के रूप में प्रयोग की जायँगी। अलनिको (Alnico) की, (जो एक स्थायी चुम्बकीय पदार्थ है) मन्दायन पाशी सबसे चौड़ी होती है। इसलिये, इसको ऐसे वक्रों की निर्धारण करने की विधि तथा कुछ चुम्बकीय पदों (Magnetic Terms) की परिभाषा करने के लिये प्रयोग किया जायगा। प्रति इंच अम्प० वर्त में व्यक्त, किसी क्षेत्र बल पर स्यंद घनत्व का मान *a* पर काफी अधिक हो जाता है जो कि इस दशा में 3000 है। इस पदार्थ में, इस स्यंद घनत्व का मान लगभग 53000 प्रति वर्ग इंच है। यदि चुम्बकीय क्षेत्र चंडता 1000 अम्प० वर्त प्रति इंच तक घटा दी जाय, तो स्यंद घनत्व केवल 50000 रेखा प्रति वर्ग इंच ही घटेगा। दूसरे शब्दों में इस चुम्बकीय पदार्थ में प्रतिरोधक बल इतने शक्तिशाली होते हैं कि क्षेत्र बल को 3000 से 1000 तक घटा देने पर भी अधिकतर व्यक्तिगत मंडल अपने चुम्बकीय एकरेखण को परिधारित रक्खेंगे और इस प्रकार 50000 रेखायें प्रति वर्ग इंच के स्यंद घनत्व को बनाये रक्खेंगे।

जब बाहरी चुम्बक गामक बल, बिल्कुल ही हटा दिया जाता है, तब भी कुछ स्यंद घनत्व रहेगा जो कि चित्र में *ob* द्वारा देशित 40000 रेखा प्रति वर्ग इंच होगा। स्यंद घनत्व का यह मान **अवशिष्ठ चुम्बकन** (Residual Magnetism) कहलाता है और यह वह स्यंद है जो कि बाहरी चु० गा० ब० अथवा क्षेत्र चंडता को शून्य तक घटाने पर भी लोहे के अन्दर रह जाती है।

यदि बाहरी चु० गा० ब० अथवा क्षेत्र चंडता को उत्क्रमित (Reversed) कर दिया जाय और 500 अम्प० वर्त प्रति इंच तक बढ़ाया जाय तो बहुत से मंडली के प्रतिरोध बल अभिभूत हो जायँगे और वे विपरीत दिशा में अपने को फिर से अनुस्थापित कर लेंगे तथा इस प्रकार स्यंद घनत्व को 32000 रेखा प्रति वर्ग इंच तक घटा देंगे। जब तक क्षेत्र चंडता उल्टी दिशा में 1100 अम्प० वर्त प्रति इंच तक बढ़ायी जाती है, तब तक काफी मंडल उत्क्रमित हो जाते हैं जिससे कि स्यंद शून्य हो जाता है। इस परिणाम को निष्पादित करने के लिये आवश्यक क्षेत्र चंडता के मान को **प्रसाहि बल** (Coercive Force) कहते हैं। इस निरूपण में यह मान *OC* अथवा 1100 अम्प० वर्त प्रति इंच है।

जैसे-जैसे क्षेत्र चंडता बढ़ाई जाती है वैसे-वैसे शेष मंडल भी शीघ्रता से अभिभूत हो जाते हैं। यहाँ तक कि, *d* पर स्यंद घनत्व 53000 रेखा प्रति वर्ग इंच

चित्र 2-10 : अलनिको इस्पात, विद्युत् स्तारों तथा पर्मेलॉय की मन्दायन पाशियाँ

का अधिकतम मान फिर से प्राप्त हो जाता है; परन्तु इस बार a से विपरीत दिशा में। यदि अब क्षेत्र चंडता फिर शून्य तक घटा दी जाय और फिर उत्क्रमित दिशा में पूर्व मान (Original Value) तक बढ़ायी जाय तो चुम्बकीय पदार्थ ठीक वैसे ही चक्र से पारित होगा जैसे कि a से b और c में से d तक जाने में; परन्तु उल्टी दिशा में। पूर्ण वक्र मन्दायन पाशी कहलाता है।

इस दिशा में इस विशिष्ठ पदार्थ का अविशिष्ठ चुम्बकन तथा प्रसाहि बल का उच्च मान यह देशित करता है कि यह स्थायी चुम्बक के रूप में उपयोगी होगा।

विद्युत् स्तारों के चुम्बकीय लक्षण

चुम्बकीय पदार्थों का अधिकांश भाग सिलिकॉन-इस्पात (Silicon-Steel) के स्तारों के रूप में प्रयोग होता है। उद्योग में इन्हें विद्युत् स्तार (Electrical Sheets) भी कहते हैं। ये इस्पात स्तार लगभग सभी विद्युत् मशीनों के चुम्बकीय परिपथों के बनाने में प्रयुक्त होते हैं और इसलिये यह प्रतिवर्ष करोड़ों टन उत्पादित होने वाला एक मुख्य वाणिज्यिक पदार्थ है।

विद्युत् स्तारों की प्रारूपिक मन्दायन पाशियाँ रेखाचित्र 2-10 के दाहिने ऊपरी भाग में दिखाई गई है। यह अवलोकित होगा कि मन्दायन पाशियाँ 20,000, 50,000 और 65,000 रेखा प्रति वर्ग इंच के अधिकतम स्यंद घनत्व के मान के लिये खींची गई हैं। प्रत्येक उत्क्रमण के लिये ऊर्जा हानि मन्दायन पाशी के क्षेत्रफल की समानुपाती होती है। इसलिये जैसे-जैसे अधिकतम स्यंद घनत्व बढ़ता जाता है, हानि भी शीघ्रता से बढ़ती जाती है। इसी कारण प्रत्यावर्ती धारा मशीनों का उच्च स्यंद घनत्व पर प्रवर्तन कराना मितव्ययी नहीं होता। बाद में यह भी दिखाया जायगा कि लोहे में कुल हानि, लोहे में प्रवाहित होने वाली भँवर धाराओं (Eddy Curtents) के परिणामतः होने वाली I^2R हानि को भी अन्तर्हित करती है। इन दोनों हानियों को किसी निर्धारित वारंवारता पर जोड़ कर पदार्थ में होने वाली शक्ति हानि (वाट प्रति पौंड), के विरुद्ध अधिकतम स्यंद घनत्व वाले वक्रों के रूप में प्रतिवेदित किया जाता है।

यह अवलोकित होगा कि एक बिन्दुकित रेखा मन्दायन पाशी के बिन्दुओं में से होती हुई खींची गई है। यह विद्युत् स्तारों का चुम्बकन वक्र है जो पहले, रेखाचित्र 2-3 में दिखाया गया है। अब स्पष्ट है कि यह चुम्बकन वक्र, स्यंद घनत्व को चुम्बकन बल (Magnetizing Force) के पदों में प्रपूर्णतया निर्धारित नहीं करता; क्योंकि चुम्बकन बल के बढ़ते हुए तथा घटते हुए मानो पर स्यंद घनत्व में काफी विभिन्नता होती है। तथापि जब एक वायु विच्छद भी अन्तर्निहित होता है, तब स्यंद पर इस विभिन्नता का प्रभाव बहुत थोड़ा होता है, क्योंकि वायु विच्छद को अभिभूत करने वाले अम्प० वर्त सामान्यतः लोहे के

प्रतियास (Reluctance) को अभिभूत करने वाले अम्प० वर्तों की अपेक्षा बहुत अधिक होते हैं।

स्यंद घनत्व और चुम्बक गामक बल का अनुपात उस सुगमता का माप है, जिससे किसी पदार्थ को चुम्बकित करना संभव है। पदार्थ के इस लक्षण को व्यक्त करने वाला पद **आपेक्षिक अतिवेध्यता** (Relative Permeability) कहलाता है। इसकी परिभाषा निम्नलिखित है : **किसी चुम्बकीय पदार्थ में एक निर्धारित क्षेत्र चंडता द्वारा उत्पादित हुई स्यंद तथा उसी क्षेत्र चंडता द्वारा वायु में उत्पादित स्यंद का अनुपात आपेक्षिक अतिवेध्यता कहलाता है।** साधारण विद्युत् स्तारों में इस अतिवेध्यता का अधिकतम मान 6000 से 12000 तक होता है।

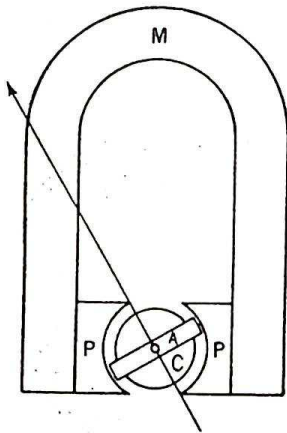
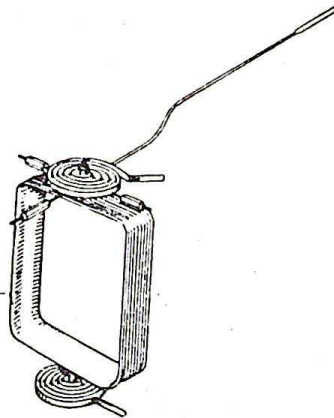
तृतीय अध्याय

अव्यवहित धारा मापन

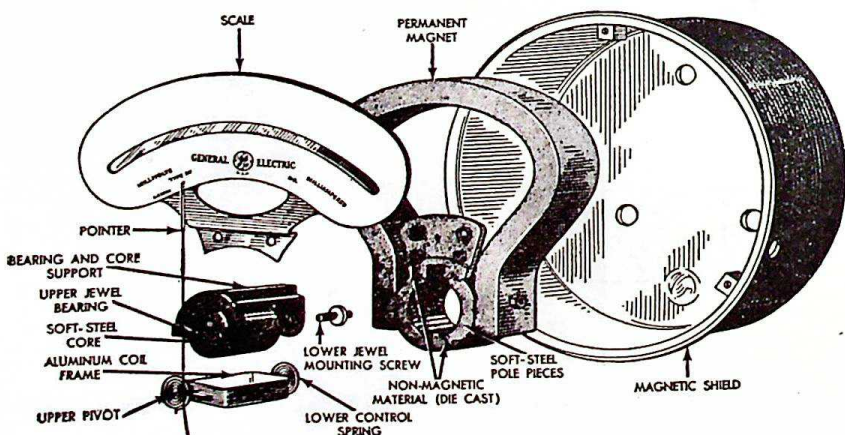
(DIRECT-CURRENT MEASUREMENTS)

स्थायी-चुम्बक-चलन-कुंडल मीटर (Permanent-Magnet Moving-Coil Meters)

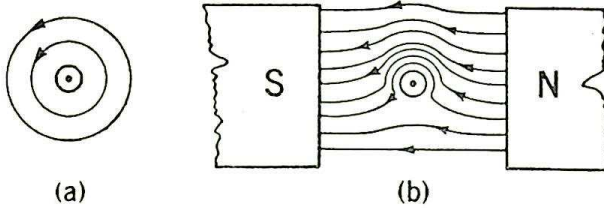
पहले अध्याय में पर्यालोचित परिपथ सिद्धान्तों का व्यवहारिक उपयोग, इंजीनियरी व्यवहार (Engineering Practice) में प्रयोग होने वाली सज्जाओं में धारा, वोल्टता तथा रोध के परिमाण के ठीक-ठीक मापने की योग्यता पर निर्भर करता है और परिपथ विश्लेषण का अन्तत: औचित्य, विद्यार्थी द्वारा मीटर पाठ्यांकों के विचरण का ठीक-ठीक विश्लेषण और व्याख्या करने पर निर्भर करता है।

तापमान, प्रवाह, अम्लता तथा निर्माण विधायनों (Manufacturing Processes) के लिये आवश्यक, अन्य कई राशियों को निकालने के लिये अ० धा० उपकरणों (Instruments) का उपयोग होता है। इस कारण इंजीनियर के लिये इन युक्तियों के सिद्धान्तों की पूर्ण जानकारी आवश्यक हो जाती है।

चित्र 3-1 :
एक स्थायी चुम्बक चलन-कुंडल मीटर

चित्र 3-2 :
चित्र 3-1 का चलन-कुंडल एकत्रण

लगभग सभी अ० धा० मापन अंतत: एक गैलवेनोमीटर अथवा स्थायी चुम्बक चलन-कुंडल प्ररूप के मीटरों पर निर्भर करता है। पहले, इनका कुछ विस्तार से अध्ययन किया जायगा। चित्र 3-1 में ऐसे मीटर के मुख्य भाग दिखाये गये हैं। स्थायी चुम्बक M एक चुम्बकीय क्षेत्र प्रदाय करता है जिसका नियंत्रण नरम लोहे के ध्रुव खण्ड P, और आन्तरक C करते हैं,

जिससे कि विच्छद में एक सम परिमाण का अरीय क्षेत्र (Radial Field of Uniform Magnitude) रहता है। एक कुंडल एकत्रण A जिसे चित्र 3-2 में विस्तार पूर्वक दिखाया गया है, मणिकित भारुओं (Jewelled Bearings) में आधारित होता है; जिससे यह वायु विच्छद में आगे-पीछे घूमने के लिये स्वतन्त्र रहता है। कुंडल, सूक्ष्म तार के बहुत से वर्तों का बना होता है और साधारणतया, ताँबे अथवा अल्यूमिनियम के कुंडल संधार (Coil-form) के ऊपर वर्तित होता है। कुंडल के दोनों छोर, कुंडल एकत्रण के ऊपर और नीचे लगी हुई बाल कमानियों (Hair-springs) से जुड़े होते हैं। ये बाल कमानियां दो रूपों में कार्य करती हैं। एक तो यह कुंडल को उसकी शून्य स्थिति में प्रत्यास्थापित (Restore) करने के लिये उन्मुख, विभ्रमिषा (Torque) प्रदान करती हैं; तथा दूसरे, यह कुंडल के लिये विद्युत् योजक (Electrical Connection) का कार्य करती हैं। कुंडल में धारा, चुम्बकीय क्षेत्र से प्रतिक्रिया कर विभ्रमिषा उत्पन्न करती है; और यह विभ्रमिषा धारा के समानुपात में होती है। जिस स्थिति तक विद्युत्-चुम्बकीय विभ्रमिषा कमानी की प्रत्यास्थापन विभ्रमिषा के बराबर नहीं हो जाती उस स्थिति तक इसके कारण कुंडल घूम जाता है। कोणिक व्याकोचन (Angular Deflection), कुंडल में बहने वाली धारा का समानुपाती होता है और स्वंकित (Calibrated), वर्तुल मापनी (Circular Scale) पर घूमते हुए देष्टा द्वारा देशित होता है। ऐसा मीटर सामान्यतः **स्थायी-चुम्बक-चलन-कुंडल** उपकरण कहलाता है। ऐसे एक मीटर के खोले हुए विभिन्न भागों का उद्रेख चित्र 3-3 में दिखाया गया है।

चित्र 3-3 : **स्थायी-चुम्बक-चलन-कुंडल के विकत्रित भाग**

स्थायी-चुम्बक-चलन-कुंडल की भौतिकी—जब एक धारा वहन करने वाला संवाहक एक चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित होता है, तब उसके ऊपर एक बल अथवा पार्श्विक वितोद (Side Thrust) कार्य करता है। जब तार, क्षेत्र की

दिशा एवं चलन की संभव दिशा दोनों ही के लम्ब-रूप होता है, तब प्रभावी वितोद (Effective Thrust) सबसे अधिक होता है। ऐसा, स्थायी चुम्बक क्षेत्र तथा धारा द्वारा उत्पन्न क्षेत्र की चुम्बकीय अंतर क्रिया के कारण होता है, जैसा कि चित्र 3-4 में दिखाया गया है। इस रेखा चित्र में तार

चित्र 3-4 : **धारा वहन करते हुए, एक चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित संवाहक पर लगने वाला बल**

की अंत दृशा (End View) दिखाई गई है जिसमें धारा पाठक की ओर को बह रही है। इस धारा से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र, इस तार के चारों ओर प्रतिघटि (Counter-clockwise) दिशा में स्यंद की संकेन्द्र वलयों (Concentric Rings) के रूप में दिखाया गया है। जब संवाहक को किसी एकसम चुम्बकीय क्षेत्र में रख दिया जाता है (चित्र *b*) तब तार में बहने वाली धारा, क्षेत्र का व्याकर्षण (Distort) कर देती है। इससे, तार के ऊपर और अधिक रेखायें सकेन्द्रित हो जाती हैं; तथा तार के नीचे प्रायः पाई जाने वाली संख्या से भी कम हो जाती है। रेखाओं के एक दूसरे पर, तथा ऐसा व्याकर्षण करने वाले विद्युत् संवाहकों के ऊपर, पार्श्व बल लगाने की प्रत्यक्ष प्रवृत्ति के कारण, संवाहक नीचे की ओर धकेला जाता है। संवाहक की एकक लम्बाई के ऊपर बल का परिमाण, वायु विच्छद में स्यंद के तथा धारा के परिमाण के समानुपाती होता है। गणितानुसार इसे इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$F = 8{\cdot}84 \times 10^{-8}\ BlI \text{ lbs}$$

जिसमें B स्यंद घनत्व (रेखा प्रति वर्ग इंच में); l लम्बाई इंच में और I धारा (अम्पीयर में) है।

जिस विधि से यह नियम पहले बताये गये मीटरों में प्रयोग होता है, वह निम्नलिखित उदाहरणों में दिखाया गया है।

उदाहरण : रेखाचित्र 3-1 में दिखाये गए मीटर के कुंडल पर उत्पन्न विभ्रमिषा निकालिये जब कि कुंडल में 1 मिलि अम्प० धारा बह रही है। कुंडल $\frac{3}{4}''$ लम्बाई तथा चौड़ाई का वर्गाकार है; और सूक्ष्म तार के 100 वर्तों से बना हुआ है। वायु विच्छद में स्यंद घनत्व 60,000 रेखा / इंच^2 है।

समाधान :

(1) प्रत्येक कुंडल भुजा पर पार्श्विक वितोद निकालिये।

4

$F = 100 \times 8{\cdot}84 \times 10^{-8} \times 60000 \times \frac{3}{4} \times 0{\cdot}001$

$= 3{\cdot}98 \times 10^{-4}$ पौंड $\qquad = 6{\cdot}36 \times 10^{-3}$ औंस

(2) इंच-औंस में विभ्रमिषा निकालिये।

$T = F \times D = 2 \times 6{\cdot}36 \times 10^{-3} \times \frac{3}{8}$

$= 4{\cdot}77 \times 10^{-3}$ इंच-औंस (उत्तर)

जैसा कि उदाहरण से देशित है इस प्ररूप के मीटरों में अन्तर्निहित बलों का मान बहुत कम होता है, इसलिये परिशुद्ध परिणाम प्राप्त करने के हेतु, इनके निर्माण में बहुत सुतथ्यता (Precision) की, तथा प्रयोग में बहुत सावधानी की आवश्यकता है। यदि एक मीटर की परिशुद्धता, पूर्ण मापनी वाचन (Full-Scale Reading) की 1/2 प्रतिशत तक होनी हो और कुल विभ्रमिषा केवल 5×10^{-3} इंच-औंस हो, तो प्रतिरोधक विभ्रमिषा (Frictional Torque) का मान $2{\cdot}5 \times 10^{-5}$ इंच औंस तक सीमित करना आवश्यक है। चूंकि मीटर की परिशुद्धता में, प्रतिरोध (Friction) मुख्य सीमाकारकों (Limiting Factors) में से एक है; इसलिये यह प्रत्यक्ष है कि कोई मीटर, जो पूर्ण मापनी व्याकोचन (Deflection) पर 1 अम्पीयर पढ़ेगा; उसकी परिशुद्धता लगभग ± ·01 अम्प० तक हो सकती है। यदि ऐसे मीटर को ·1 अम्प० नापने के लिये प्रयुक्त किया जा रहा हो तब भी अशुद्धि उतनी ही होगी, किन्तु मापी जा सकने वाली अधिकतम परिशुद्धता 10% हो जायगी।

जैसा कि उदाहरण से देशित किया गया है, स्थायी चुम्बक चलन-कुंडल उपकरण एक धारा मापन युक्ति है। संघटक (Component) भागों के छोटे होने के कारण, धारा को सामान्यतः कुछ मिलि अम्प० तक ही सीमित रक्खा जाता है और बहुधा यह 1 मिलि अम्प० से कम होती है।

अभ्यास 3-1 : एक छोटे उपकरण में $\frac{3}{8}''$ का एक वर्गाकार कुंडल है। यह तार के 100 वर्तों से वर्तित है और वायु विच्छद में क्षेत्र बल 50000 रेखा / इंच^2 है। इसमें $50\mu a$ (माइक्रो अम्पीयर) धारा प्रवाह के कारण उत्पन्न विभ्रमिषा निकालिये।

अभ्यास 3-2 : यदि अभ्यास 3-1 वाले कुंडल की चौड़ाई (आक्षिक विमा—Axial Dimension) 0·1 हो तो 40 नम्बर के आकाचित (Enameled) तार के वर्तों की कितनी तहों (Layers) की आवश्यकता होगी ? यदि कुंडल के दोनों ओर 0·01 का अन्तराल (Spacing) अपेक्षित हो तो कितना वायु विच्छद आवश्यक होगा ? कुंडल का रोध क्या होगा ?

वोल्टता मापन (Voltage Measurement)

इस मीटर को वोल्टता मापन में प्रयोग करने के लिये इसे एक रोधक के साथ माला युजित कर दिया जाता है। यह रोधक अधिकतम वोल्टता पर (जिसके

लिये कि मीटर स्वंकित होता है) चलन कुंडल में भार को उस मान तक सीमित कर देता है कि पूर्ण मापनी व्याकोचन प्राप्त हो सके। यह रोधक, मैंगनीन (Manganin) का या ऐसे रोध तार (Resistance Wire) का बना होता है जिसका तापमान गुणक बहुत कम होता है। इससे यह आश्वासित हो जाता है कि मीटर वाचन, तापमान विचरण (Temperature Variation) से अधिक प्रभावित नहीं होगा।

चित्र 3-5 : आन्तरिक रोधक सहित एक वोल्टमीटर

मीटर में पूर्ण मापनी व्याकोचन उत्पन्न करने के लिये, वोल्टता प्रभव से ली हुई आवश्यक धारा जितनी भी कम होगी, मीटर उतना ही अधिक हृष (Sensitive) होगा। हृषता को, सामान्यतः, रोध और पूर्ण मापनी वोल्टों (Full-Scale Volts) के अनुपात, अर्थात् ओम प्रति वोल्ट से व्यक्त किया जाता है। एक 1000 ओम प्रति वोल्ट हृषता वाले मीटर का, जिसकी पूर्ण मापनी वोल्टता 300 वोल्ट हो, रोध 300,000 ओम होगा। अ० धा० वोल्टमीटर, सामान्यतः, 100, 1000, 10000 और 20000 ओम प्रति वोल्ट की हृषता में बनाये जाते हैं।

अभ्यास 3-3 : एक वोल्टमीटर का पूर्ण मापनी वाचन 150 वोल्ट है और मापनी पर उसका रोध 150000 ओम अंकित है। इसे 300 वोल्ट के प्रयोग के योग्य बनाने के लिए, कितने मान के बाहरी रोधक की आवश्यकता होगी ?

अभ्यास 3-4 : यदि अभ्यास 3-3 में केवल एक 100,000 ओम का बाहरी रोधक ही उपलब्ध हो, तो क्या इस मीटर को 240 वोल्ट मापने के लिये प्रयोग किया जा सकता है ? इस दशा में मापनी पाठ्यांक कितना होगा ?

अभ्यास 3-5 : मिलि अम्मीटर के रूप में स्वंकित एक ऐसा मीटर प्राप्य है जिसका रोध 1000 ओम है, तथा इसका पूर्ण मापनी व्याकोचन 0·1 मि० अम्प० है। निम्नलिखित पूर्ण मापनी श्रेणियों के लिये, इसका एक बहुश्रेणी (Multirange) वोल्टमीटर बनाना है। (अ) 1 वो० (ब) 10 वो० (स) 100 वो० (द) 500 वो०।

रेखाचित्र द्वारा दिखाइये कि आप यह मीटर किस प्रकार बनायेंगे ? प्रयुक्त रोधकों का मान निकालिये ?

जिस परिपथ में वोल्टमीटर लगाया जाता है, उसमें इसे कोई उपागण्य (Appreciable) परिवर्तन नहीं करना चाहिये। यदि परिपथ से उपागण्य धारा ली जायगी, तो वोल्टमीटर के युजन से परिस्थितियों में अंतर हो जायगा और अशुद्ध परिणाम प्राप्त होंगे। इसलिये शून्यक-नाल (Vacuum Tubes) वाले परिपथों में 10000 और 20000 ओम प्रति वोल्ट हृषता वाले मीटरों

का प्रयोग आवश्यक सा ही है। तथापि विद्युत् शक्ति परिपथों में, जहाँ कि धारा का मान अधिक होता है, और परिपथ रोध कम होते हैं, वहाँ 100 और 1000 ओम प्रति वोल्ट की हृषता के अधिक मजबूत मीटरों का अधिमनन किया जाता है।

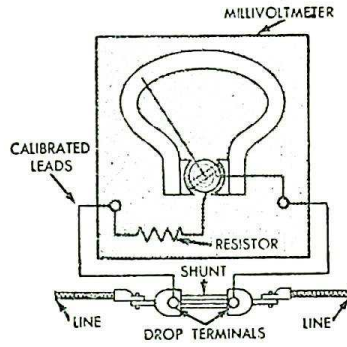
ओम नियम के प्रयोग से वोल्टमीटर का, काफी ऊँचे रोध मापने के लिये भी उपयोग किया जा सकता है। उदाहरणतः एक 150000 ओम रोध का वोल्टमीटर लाइन से युजित करने के बाद 120 वो० वाचन करता है। अज्ञात रोध से माला युजन के पश्चात् यह 40 वोल्ट ही वाचन करता है। मीटर में धारा अपने पूर्व मान के $\frac{40}{120}$ गुणा घट जाती है। इसलिये कुल माला रोध, पूर्व मान का $\frac{120}{40}$ गुणा है; अर्थात् 450000 ओम है। इस प्रकार साथ में जोड़ा गया रोधक 300000 ओम का होगा।

अभ्यास 3-6: एक विद्युत् मोटर के विसंवाहन का च्यावी रोध (Leakage Resistance) निकालना है। 1000 ओम प्रति वोल्ट वाली हृषता का एक 300 वो० वाला वोल्टमीटर वर्तन (Winding) से माला में युजित है और धारा का प्रवाह विसंवाहन से भूमि की ओर ही है। जब इसे 250 वो० की अ० धा० लाइन से युजित किया जाता है, इस वोल्टमीटर का वाचन 56 वो० है। विसंवाहन रोध (Insulation Resistance) का मान क्या होगा?

मीटर कुंडल सामान्यतः ताँबे के बने होते हैं, जिनका तापमान गुणक काफ़ी होता है। यदि ऐसे मीटर का प्रयोग, बिना अतिरिक्त रोधक के जोड़े बहुत कम मान की वोल्टता नापने के लिये किया जाय, तो परिणाम में विभिन्न तापमान के कारण काफी अशुद्धि आ जायगी। परिणामतः, जो मीटर कम मान की वोल्टता नापने के काम में लाये जाते हैं, उनका प्ररचन कम रोध के कुंडल से किया जाता है, जिससे कि कुंडल से कई गुना मान का रोधक इसके साथ माला में युजित किया जा सके। इस प्रकार तापमान अशुद्धि नगण्य हो जाती है। ऐसे मीटरों का स्वंकन, बहुधा, पूर्ण मापनी व्याकोचन पर 200 या 50 मि० वो० नापने के लिये, किया जाता है।

धारा मापन (Current Measurement)

कुछ मिलि अम्प० तक की कम धारा के मान को सीधे ही मापने के लिये स्थायी चुम्बक चलन कुंडल उपकरणों का प्ररचन संभव है, किन्तु धारा मापन में, सामान्यतः प्रयोग करने के लिये इन उपकरणों के साथ एक **पार्श्वायन** (Shunt) लगाना पड़ता है। पार्श्वायन कम मान का एक ऐसा रोधक होता है, जिसमें निर्धारित धारा बहने पर एक विशिष्ट मि० वो० पात (Drop) होता हो। पात का यह मान साधारणतया 50 मि० वो० होता है (यद्यपि बहुत से परिशुद्ध मीटरों के लिये अधिक ऊँचे मान भी प्रयोग किये जाते हैं)। तामपान अशुद्धियों को दूर करने के लिये इन पार्श्वायनों के बनाने में अधिकतर मैंगनीन का प्रयोग किया

जाता है। ऐसी एक धारा मापन युक्ति का विन्यास; चित्र 3-6 में दिखाया गया है। इसमें पार्श्वायिन को, मापी जाने वाली धारा के पथ में युजित किया जाता है। पार्श्वायिन में से निर्धारित धारा बहने पर, इसके पात अवसानों (Drop Terminals) से युजित, एक स्वंकित वाहकों (Callibrated Heads) वाला मिलिवोल्टमीटर पूर्ण मापनी व्याकोचन देगा। उदाहरणार्थ, यदि एक पार्श्वायिन 25 अम्प०, 50 मि० वो० का हो तो मिलिवोल्ट के स्वंकित वाहकों के सिरों पर 50 मि० वो० आरोपित होने पर इसका पूर्ण मापनी व्याकोचन देना आवश्यक है। साधारणतया, मीटर की पूर्ण मापनी 25 अम्प० के लिये अंकित होती है और ऐसे अंशों में विभाजित होती है जिसे पढ़ने में अधिकतम सुगमता हो सके।

चित्र 3-6 : **बाहरी पार्श्वायिन सहित एक मिलिवोल्टमीटर**

बहुत से महाविद्यालयों की प्रयोगशालायें विभिन्न परिमाणों के पार्श्वायिनों से तथा शत भागों में विभाजित मापनी वाले मिलिवोल्टमीटरों से सज्जित होती है। ऐसे प्रबन्ध में, पूर्ण मापनी के आंशिक भाग के मीटर वाचन को पार्श्वायिन की क्षमता से गुणा करना होगा। मिलिवोल्टमीटर के युजन के लिये, पार्श्वायिन के विशिष्ठ पात-अवसानों के प्रयोग में सावधानी की आवश्यकता है। यदि मिलिवोल्टमीटर के वाहकों को लाइन अवसानों से युजित कर दिया जाय, तो संस्पर्श रोध में, पात के कारण, काफी अशुद्धि आ जायेगी। चूंकि, पार्श्वायिनों का रोध काफी कम होता है, इसलिये पार्श्वायिनों और मिलि वोल्ट-मीटर को अल्प मान के रोध मापने के लिये प्रयोग किया जा सकता है। यदि पार्श्वायिन के साथ माला युजित अज्ञात रोधक में से इतनी धारा बह रही हो कि वह अम्मीटर में काफी व्याकोचन दे सके, तो मिलिवोल्टमीटर को पार्श्वायिन के सिरों से अलग कर अज्ञात रोधक के आर-पार वोल्टता मापने के लिये जोड़ा जा सकता है। उदाहरणार्थ, यदि पार्श्वायिन और मिलिवोल्टमीटर 80 अम्प० धारा प्रवाह देशित करते हैं और यदि अज्ञात रोधक के आरपार वोल्टता पात 10 मि० वो० है तो :

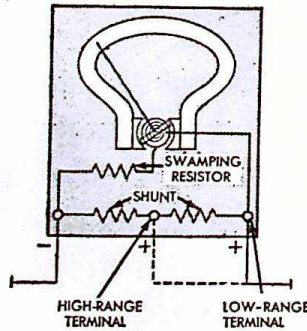
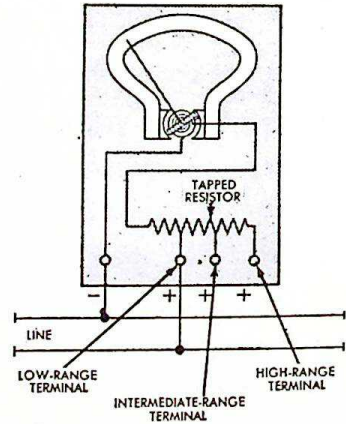
$$\text{रोध } R = \frac{E}{I} = \frac{\cdot 01}{80} = 0{\cdot}000125 \text{ ओम}$$

इस प्रकार के परीक्षणों में मिलिवोल्टमीटर को क्षति से बचाने के लिए बहुत सावधानी की आवश्यकता है। रोध निकालने की किसी प्रारम्भिक विधि से यह ज्ञात करना आवश्यक है कि उसका मान इतना कम है कि उसके

आर-पार पात, मिलिवोल्टमीटर के देष्टा (Pointer) को मापनी के बाहर न फेंक सके।

अभ्यास 3-7 : फॉस्फर ब्राँज (Phosphor Bronze) की एक पत्ती का रोध 0·1 ओम से कम है। जब ½ अम्प० धारा इसमें से भेजी जाती है तो वोल्टता पात लगभग 3 मि० वो० होता है। इस रोध को मापने के लिये आप क्या क्या करेंगे ?

अभ्यास 3-8 : 10 अश्व शक्ति, 225 वोल्ट अ० धा० मोटर के माला क्षेत्र का रोध निकालना है। 7·2 अम्प० की धारा क्षेत्र परिपथ के सिरों पर 43 मि० वो० का पात उत्पन्न करती है। इसका रोध क्या है ?

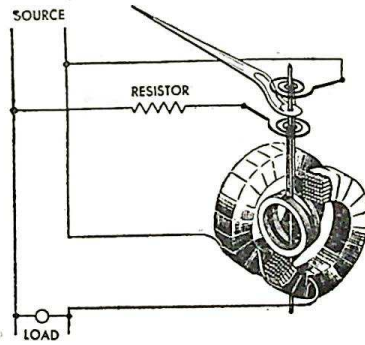
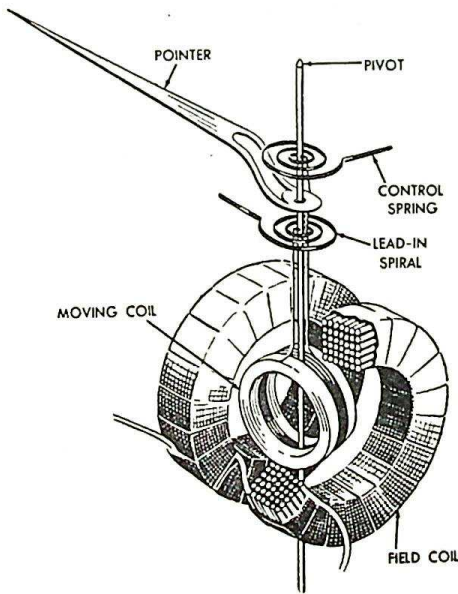
बहुश्रेणी उपकरण (Multirange Instruments) : प्रयोग में अधिक आनम्यता प्राप्त करने के लिये, उपकरणों को कई मापनियों पर काम करने के लिये बनाया जाता है। धारा मापी उपकरणों में, यह एक निसूत्रित (Tapped) पार्श्वायन लगाने से प्राप्त हो सकता है (चित्र 3-7)। जैसा कि चित्र में दिखाया गया है, पूरा पार्श्वायन, लाइन से माला युजित है, और कुंडल पूरे पार्श्वायन के आरपार युजित है। कम परास (Range) के लिये, लाइन का युजन पार्श्वायन के अंतिम अवसानों (End Terminals) से किया गया है। उच्च परास के लिये, लाइन का युजन पार्श्वायन के एकदम ऊपर के सिरे से किया गया है जिसके कारण धारा, पार्श्वायन के केवल एक भाग में से ही बहती है, तथा शेष पार्श्वायन का रोध उपकरण-कुंडल (Instrument Coil) के

चित्र 3-7 : **द्वि-श्रेणी अम्मीटर, आन्तरिक पार्श्वायन के साथ**

चित्र 3-8 : **बहु-श्रेणी अम्मीटर, आन्तरिक रोधकों के साथ**

साथ माला (Series) में हो जाता है। इस प्रकार प्राप्त हुए मापनी अनुपात, (Scale Ratios) 4:1 अथवा 10:1 के बीच में होते हैं।

बहुश्रेणी वोल्टमीटर, निसूत्रित-माला-रोधकों (Tapped Series Resistors) से बने होते हैं, जैसा चित्र 3-8 में दिखाया गया है। इन यंत्रों को

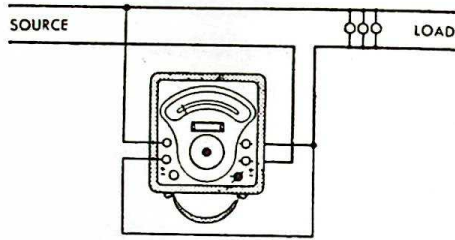
सामान्यतः सबसे कम श्रेणी पर कार्य करने के लिये प्ररचित (Design) किया जाता है और परास का अपेक्षित मान तक विस्तार करने के लिये अतिरिक्त माला रोधक लगाये जाते हैं।

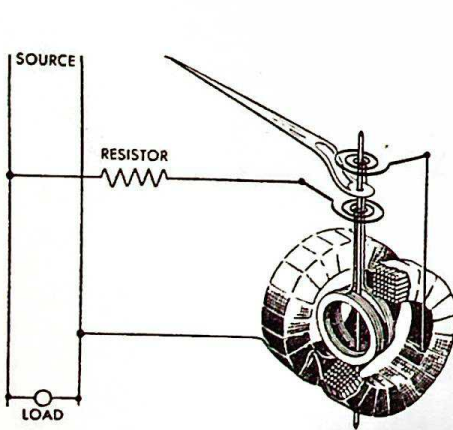
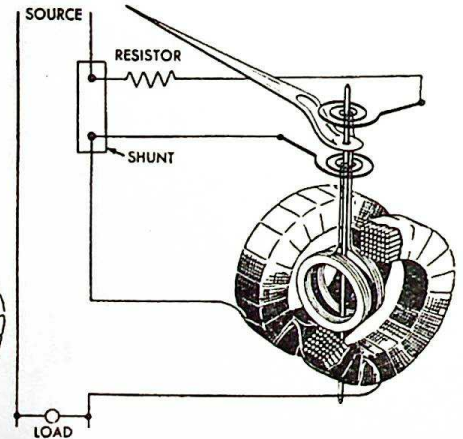
डायनेमोमीटर प्ररूप के उपकरण (Dynamometer Type of Instrumnets)

अ० धा० परिपथों में विद्युत् शक्ति को या तो धारा एवं वोल्टता के गुणन से निकाला जा सकता है, अथवा सीधे ही वाटमीटर (Wattmeter) से मापा जा सकता है। जैसा कि पहले बताया जा चुका है, धारा और वोल्टता स्थायी चुम्बक चलन कुंडल मीटरों द्वारा मापे जा सकते हैं। बहुत सी दशाओं में वाटमीटर का उपयोग अच्छा समझा जाता है, विशेषतया जहाँ भार में द्रुत परिवर्तन होते हैं। वाटमीटर एक डायनेमोमीटर उपकरण है, जिसमें चुम्बकीय क्षेत्र, स्थायी चुम्बक के स्थान पर धारा वहन करने वाले कुंडलों द्वारा प्रदाय किया जाता है।

चित्र 3-9 (बायें) : **डायनेमोमीटर अंशक**

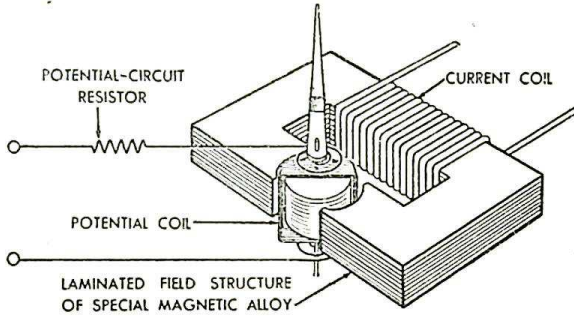
चित्र 3-10 (ऊपर) : **वाटमीटर के रूप में प्रयुक्त डायनेमोमीटर अंशक**

ऐसे उपकरण के मुख्य भाग चित्र 3-9 में दिखाये गये हैं। मीटर को परिपथ से चित्र 3-10 के अनुसार युजित किया जाता है। परिपथ की धारा क्षेत्र कुंडली में से होकर बहती है और चलन कुंडल में धारा को एक अल्प मान तक सीमित करने के लिये, इसे एक उच्च रोधक के साथ माला युजित कर लाइन के आर-पार लगा दिया जाता है। इस प्रकार चलन कुंडल में धारा, वोल्टता की समानुपाती है; और चुम्बकीय क्षेत्र, परिपथ धारा का समानुपाती है क्योंकि मीटर अंशक पर विभ्रमिषा, चलन कुंडल की धारा तथा चुम्बकीय क्षेत्र के मान

के गुणन की समानुपाती होती है। इसलिए विभ्रमिषा तथा मीटर व्याकोचन वोल्टता एवं धारा के गुणन अर्थात् विद्युत् शक्ति के अनुपात में होते हैं।

चित्र 3-11 : **वाटमीटर के बाहरी युजन**

ऐसे मीटर के लिये, प्रमाणिक-युजन-रेखाचित्र (Standard Connection Diagram) चित्र 3-11 में दिखाया गया है। यह अवलोकित होगा, कि प्रत्येक कुंडल का एक सिरा ± से अभिज्ञात होता है। वोल्टता परिपथ का यह सिरा चलन कुंडल से युजित होता है, जब कि दूसरा सिरा रोधक से। परिपथ का कुंडल वाला छोर, सदैव, लाइन के उस छोर से युजित होना चाहिये जो मीटर में होकर जाता है। इस प्रकार के युजन से विसंवाहन पर शक्म प्रतिबलों (Potential Stresses) और विद्युत् स्थैतिक (Electrostatic) बलों का निरसन (Elimination) हो जाता है। इन बलों से अशुद्धियाँ उत्पन्न हो सकती हैं।

चित्र 3-12 : **डायनेमोमीटर अंशक, वोल्टमीटर के रूप में प्रयुक्त**

चित्र 3-13 : **अम्मीटर के रूप में प्रयुक्त डायनेमोमीटर अंशक**

विद्युत् डायनेमोमीटर (Electrodynamometer) प्रारूपिक मीटरों को धारा अथवा वोल्टता मापन के लिये भी विन्यसित किया जा सकता है। (वास्तव में धारा तथा वोल्टता मापने के अतिपरिशुद्ध प्रत्यावर्ती धारा (*A. C.*) मीटर इसी प्रकार के होते हैं। वोल्टता मापने के लिये इस प्रकार के मीटर का युजन

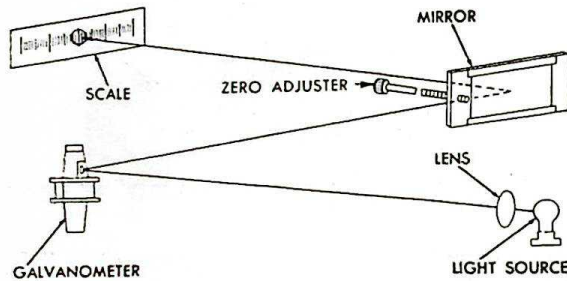
विन्यास (Connection Arrangement), चित्र 3-12 में; तथा धारा मापने के लिये, चित्र 3-13 में दिखाया गया है। इन दोनों उपकरणों में विभ्रमिषा और व्याकोचन, धारा प्रवाह के वर्ग के समानुपाती होते हैं। इसलिये इनकी मापनी, स्थायी-चुम्बक चलन-कुंडल प्ररूप के मीटरों की भाँति, एकसम (Uniform) नहीं होती।

चित्र 3-14 : **वोल्टमीटर के लिये लौह आन्तरक डायनेमोमीटर अंशक का रेखाचित्र**

डायनेमोमीटर प्ररूप के मीटरों के निर्माण की एक थोड़ी विभिन्न विधि, एक लौह आन्तरक (Iron Core) चुम्बकीय परिपथ का प्रयोग करती है; जैसा चित्र 3-14 में दिखाया गया है। इस प्रकार की बनावट तब तक संतोषप्रद होती है, जब तक कि चुम्बकीय परिपथ के लौह भाग का प्रतियास, (Reluctance) वायु विच्छद के प्रतियास की अपेक्षा नगण्य रहता है। नई, कम प्रतियास वाली मिश्रातुओं (Alloys) से यह सुगमता पूर्वक निष्पादित हो जाता है। रूढ़िवादी (Conventional) बनावट की अपेक्षा इसमें परिचलन (Movement) बहुत कम होता है और यह कहीं अधिक स्यंद घनत्व का प्रयोग करता है।

अ० धा० राशियों के मापन के लिये डायनेमोमीटर प्ररूप के उपकरणों के प्रयोग का पर्यालोचन किसी अगले अध्याय में किया जायगा।

गैलवेनोमीटर (Galvanometer) : अति अल्प धारा तथा वोल्टता का उपलम्भन (Detection) और मापन करने के लिये प्रयोग होने वाले ऊँची हृषता वाले स्थायी चुम्बक-चलन कुंडल उपकरणों को **गैलवेनोमीटर** कहते हैं। यह ऊँची हृषता, सामान्यत: चलन कुंडल ईषा (Shaft) को चुम्बकीय क्षेत्र में मणिकित भारुओं पर आधारित करने की अपेक्षा, उसको एक सूक्ष्म, धातु की पट्टिका से लटका कर प्राप्त की जाती है। कुंडल को सूक्ष्म धातु पट्टिका द्वारा ऊपर के आधार से लटकाया जाता है। इस अवस्था में ऊपरी आधार (Upper Support) तथा पट्टिका, कुंडल के लिए विद्युत् योजक का कार्य करते हैं। दूसरा युजन, कुंडल की तली में से एक अति लचकदार सूक्ष्म तार के द्वारा किया जाता है। अधिक मजबूत बनावट में कुंडल को, स्वर्ण मिश्रातु (Gold Alloy) की दो पट्टिकाओं

के बीच में लटकाया जाता है। ये पट्टिका कमानीदार आरोहणों (Spring Mountings) से साँधित (Solder) कर दी जाती है। इससे लटकन (Suspension) पर ठीक-ठीक तनाव बना रहता है। ऊपरी लटकन एक विद्युत् योजक (Electrical Connection) का भी कार्य करती है। दूसरा युजन नीचे वाली लटकन द्वारा होता है। मिश्रातु पट्टिकायें, केवल कुंडल के आधार ही नहीं वरन् विभ्रमिषा प्रदाय करने का कार्य भी करती है; क्योंकि कुंडल के परिभ्रमण के कारण लटकन में ऐंठन उत्पन्न होती है।

गैलवेनोमीटर का व्याकोचन, कुंडल पर आरोहित दर्पण से परावर्तित प्रकाश (Reflected Light Beam) द्वारा देशित किया जाता है। यह प्रकाश रश्मि,

चित्र 3-15 : **प्रकाश-रश्मि गैलवेनोमीटर के दार्ष्टिक तन्त्र का रेखाचित्र**

एक देष्टा (Pointer) का कार्य करती है; और इसके द्वारा चलन अंशक पर बिना अतिरिक्त भार के 1 से लेकर 3 फीट लम्बे देष्टा प्राप्त किये जा सकते हैं।

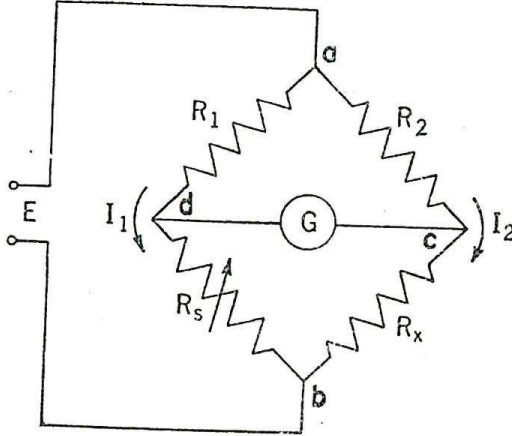
व्हीटस्टोन सेतु (Wheatstone Bridge)

व्हीटस्टोन सेतु एक विशेष प्रकार का समानान्तर परिपथ होता है, जिसके द्वारा किसी अज्ञात रोधक के मान की तुलना किसी ज्ञात अथवा स्वंकित रोधक से की जाती है। यह चार रोधकों से मिलाकर बनाता है, जैसा चित्र 3-16 में दिखाया गया है। रोधक R_1 और R_2 स्थिर परिमाण के होते हैं और R_x अज्ञात रोधक है। रोधक R_s स्वंकित एवं विचरणशील है। प्रवर्तन में R_s को इस प्रकार व्यवस्थापित किया जाता है कि गैलवेनोमीटर में कोई धारा न बहे। इस दशा में सेतु को संतुलित कहा जाता है, और तब बिन्दु d और c एक ही शक्म मान पर होते हैं। परिणामतः, निम्नलिखित समीकार प्राप्त होते हैं।

$$R_1I_1 = R_2I_2 \quad \text{और} \quad R_sI_1 = R_xI_2$$

भाग देने पर $$\frac{R_1I_1}{R_sI_1} = \frac{R_2I_2}{R_xI_2} \quad \text{अथवा} \quad \frac{R_1}{R_s} = \frac{R_2}{R_x}$$

इसलिये $$R_x = R_s\frac{R_2}{R_1}$$

यदि R_1 और R_2 बराबर होते हैं, जैसा कि बहुधा होता है; तब R_x, R_s के बराबर हो जाता है। इसे सम बाहु सेतु (Equal Arm Bridge) कहते हैं।

चित्र 3-16 : रोध-सेतु

यदि R_1 और R_2, R_x के परिमाण वर्ग (Order of Magnitude) के ही हों तो यह सेतु अधिकतम परिशुद्ध होता है। परिणाम की परिशुद्धता, ज्ञात रोधक के स्वंकन की परिशुद्धता, सेतु अंशकों के बीच संस्पर्श रोध के निरसन तथा गैल्वेनोमीटर की हृषता के ऊपर निर्भर करती है।

ऊपर लिखे सभी अंशकों का सावधानी से व्यवस्थापन करने पर, रोध का मापन चार या पाँच सार्थक अंकों की परिशुद्धता तक किया जा सकता है। जब अज्ञात रोधक, R_1 की तुलना में काफी भिन्न मान का होता है, तब R_2 को R_x के परिमाण वर्ग का बना देना साधारणतया अपेक्षित होता है। अधिकांश वाणिज्यिक सेतुओं में यह R_2 को 10 के खण्डों में व्यवस्थापित करके प्राप्त किया जाता है। इस प्रकार यदि R_1, 1000 ओम हो, तो R_2 को 100000, 10000, 1000, 100, 10 या 1 ओम रक्खा जा सकता है। R_2 के विभिन्न व्यवस्थापन (Settings) 100, 10, 1, 0·1, ·01, 0·001 के गुणन खण्डों के तत्सम्बन्धी होंगे। जब गुणन खण्ड इकाई से बहुत भिन्न हो जाते हैं, जैसे कि 100, 0·01 अथवा 0·001; तब ऐसे प्रभाव उत्पन्न हो जाते हैं जो मापन की परिशुद्धता को घटाने का प्रयत्न करते हैं। 1 ओम से कम और 1000000 ओम से अधिक रोध के मापन में परिणामों में तर्कसम्मत परिशुद्धता प्राप्त करने के लिये विशेष पूर्व विधानों का ध्यान रखना आवश्यक है।

तापमान, विकृति (Strain) तथा अन्य कई औद्योगिक राशियों के मापन में व्हीटस्टोन सेतु का प्रयोग बहुत विस्तृत है। इस सेतु का लाभ यह है, कि यह

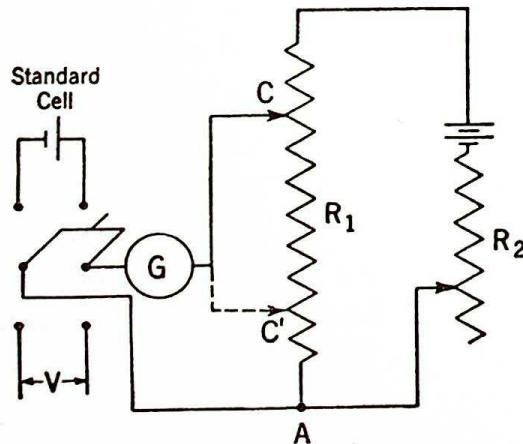
अभिशून्यन विधि (Null Method) पर आधारित है। इस प्रकार यह गैलवेनोमीटर के स्वंकन पर निर्भर न होकर, केवल उसकी हृषता पर निर्भर करता है। इसलिये, सेतु की संतुलित अवस्था का ठीक ठीक पता लगाने के लिये, एक अतिहृष गैलवेनोमीटर का उपयोग किया जा सकता है। यदि सेतु अंशक परिशुद्ध हों तो श्रेष्ठ परिणाम प्राप्त किये जा सकते हैं। परिणाम, आरोपित वोल्टता और अधिकांश वाहक तारों के रोध से स्वतंत्र होते हैं।

अभ्यास 3-9 : यदि $R_1=1000$, $R_2=100$, और $R_s=5673$ ओम तो अज्ञात रोधक का मान निकालिये।

अभ्यास 3-10 : यदि गैल्वेनोमीटर $100\mu v$ के अंतर का उपलम्भन कर सकता है, तो निम्नलिखित सेतु राशियों के साथ सम्बद्ध अज्ञात रोधक के मापन में अधिकतम कितनी परिशुद्धता की आशा की जा सकती है?

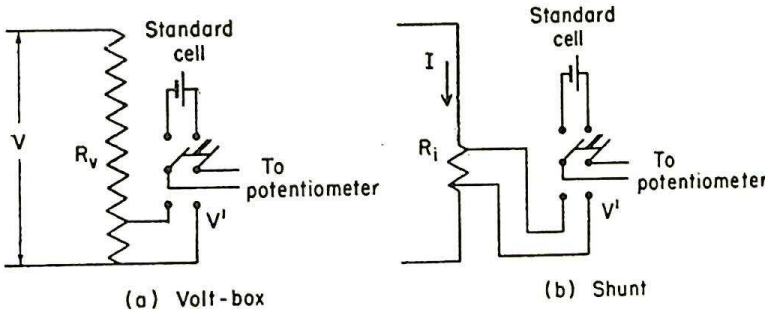
$R_1=1000$ ओम, $R_2=1$ ओम, $R_s=473$ ओम वोल्टता प्रभव एक $2v$ की बैटरी है।

शक्ममीटर (Potentioneter)

व्हीटस्टोन सेतु से मिलती जुलती सज्जा तथा वोल्टता के संतुलन के लिये अभिशून्यन विधि का प्रयोग करने वाले एक अन्य उपकरण का नाम शक्ममीटर है। यह अल्प वोल्टता के परिशुद्ध मापन के काम में लाया जाता है, जैसे कि तापीय-युग्म (Thermocouple) द्वारा उत्पन्न वोल्टता।

चित्र 3-17 : **सरल शक्ममीटर परिपथ**

मूलतः, शक्ममीटर स्थिर धारा वहन करने वाला रोधक होता है। इस परिपथ का सरल रूप, चित्र 3-17 में दिखाया गया है। इस चित्र में रोधक R_1, परिशुद्धता पूर्वक स्वंकित एक पात तन्तु (Drop Wire) है। इसका कुल रोध 1500 ओम हो सकता है। यदि विचरणशील संस्पर्शक (Contacter)

को इस प्रकार रक्खा जाय कि A से C तक का रोध 1018·3 ओम हो और यदि पात तन्तु में परिशुद्धता से व्यवस्थापित धारा 1 मि० अम्प० हो, तो C से A तक की वोल्टता 1·0183 वो० होगी। चूँकि एक प्रमापित कोशा (Standard Cell) की वोल्टता ठीक 1·0183 वोल्ट होती है, इसलिये स्विच को ऊपरी (Up) स्थिति में जोड़ा जा सकता है और R_2 को अभिशून्यन विन्दु (Null Point) के मिलने तक व्यवस्थापित किया जा सकता है। इस स्थिति में कोशा B, पात तन्तु में ठीक 1 मि० अम्प० धारा प्रवाहित करती है। प्रमापित कोशा से वोल्टता पात की तुलना कर, धारा के ठीक मान पर व्यवस्थापन को बहुधा **धारा का प्रमापन** (Standardizing the Current) कहा जाता है।

जब द्वि-ध्रुव स्विच (Double-pole Switch) को नीचे की स्थिति में रक्खा जाता है और अज्ञात वोल्टता (जिसका भापन करना है) से युजित किया जाता है, तब रोधक R_1 के साथ-साथ, संस्पर्शक को तब तक व्यवस्थापित किया जाता है जब तक कि गैल्वेनोमीटर में कोई व्याकोचन न रह जाय। इस दशा में C' विन्दु (जो शून्य व्याकोचन विन्दु है) की वोल्टता अज्ञात् वोल्टता के बराबर होगी। चूँकि A और C' के बीच का रोध स्वंकन (Calibration) से ज्ञात है तथा धारा 1 मि० अम्प है, इसलिये A और C' के बीच की वोल्टता ज्ञात हो जाती है।

चित्र 3-18 : **शक्ममीटर द्वारा धारा तथा वोल्टता मापन के लिये प्रमाणिक वोल्ट बक्स का प्रयोग**

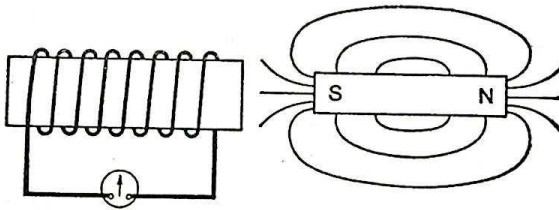
जब 1 वोल्ट से अधिक वोल्टता का मापन अपेक्षित हो, तो एक स्थिर शक्म-मीटर अथवा वोल्ट बक्स का प्रयोग किया जाता है जैसा चित्र 3-18 (a) में दिखाया गया है। यह वोल्ट बक्स मापन में एक अज्ञात वोल्टता के एक विशिष्ट खण्ड का प्रावधान करता है। उदाहरणार्थ, यदि 84·37 वो० की वोल्टता का मापन करना हो तो चित्र 3-18 (a) में R_v का कुल रोध 100000 ओम होगा और 1000 ओम पर एक निसूत्रक (Tap) लगा होगा। इस प्रकार सम्पूर्ण वोल्टता का केवल 0·01 भाग, V' वोल्टता अवसानों पर उपलब्ध होगा, और शक्ममीटर 0·8437 वो० का मापन कर सकेगा। तत्पश्चात् 0·8437 को 100 से गुणा करने पर मूल वोल्टता ज्ञात की जा सकती है।

यदि धारा-मापन अपेक्षित हो, तो, एक पार्श्वायिन का प्रयोग किया जाता है और पार्श्वायिन में, शक्ममीटर से मिलिवोल्ट पात निकाला जाता है। इस परिपथ को चित्र 3-18 (b) में दिखाया गया है। मान लीजिये, यदि 74·67 अम्प० की धारा को मापना हो तो 0·01 ओम रोध वाला पार्श्वायिन काम में लाया जायगा जो 0·7467 वोल्ट का पात करेगा। यह पात V' पर प्रकट होगा और शक्ममीटर द्वारा मापा जा सकता है।

चौथा अध्याय

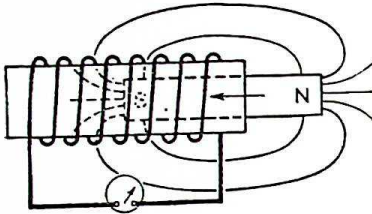
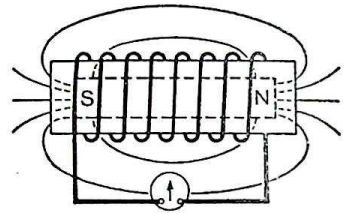
विद्युत्-चुम्बकीय प्ररोचन
(ELECTROMAGNETIC INDUCTION)

कुंडल में प्ररोचित वोल्टता

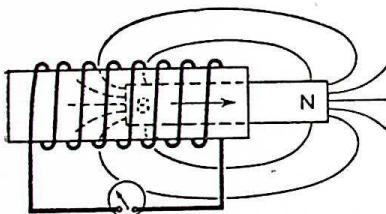
जिस प्रकार विद्युत् धारा तथा चुम्बकीय स्यंद संयवित होते हैं, उसी प्रकार चुम्बकीय स्यंद में परिवर्तन, विद्युत् दबाव अथवा वोल्टता से संयवित होता है। रेडियो तरंगों में, चुम्बकीय क्षेत्र का परिवर्तन तत्सम्बन्धी विद्युत्-क्षेत्र तथा शक्म में परिवर्तन से संयवित होता है। ये परिवर्तन वरिमा (Space) में प्रसारित होते हैं और एक वायव्य (Aerial) तथा रेडियो रिसीवर द्वारा उपलम्भित किये जाते हैं। औद्योगिक विद्युत् क्षेत्र में, विद्युत् और चुम्बकीय क्षेत्रों का इस प्रकार का सम्बन्ध शायद ही कभी पाया जाता है। इस अध्याय में विद्युत् प्ररोचन का अध्ययन, विद्युत् मशीनों तथा दूसरी युक्तियों से सम्बन्धित विषयों तक ही सीमित रक्खा जायगा।

चित्र 4-1 : **एक कुंडल और दण्ड-चुम्बक**

यह याद रखना चाहिये कि विद्युत् इंजीनियरी, भौतिक विज्ञान पर आधारित है और भौतिक विज्ञान, प्रयोगशाला के प्रयोगों पर। इसलिये विद्युत् इंजीनियरी की सब घटनायें भौतिकी के मूलभूत प्रयोगों पर आधारित हैं। विद्युत्-चुम्बकीय प्ररोचन के अध्ययन के लिये आधार रूप में इनमें से एक प्रयोग का, पुनर्निरीक्षण करना अच्छा रहेगा।

कल्पना कीजिये, कि एक तार को गत्ते की नली पर वर्तित किया गया है जैसा चित्र 4-1 में दिखाया गया है। तार के सिरों को एक गैल्वेनोमीटर अथवा मध्य शून्य (Central-Zero) मापनी वाले एक हृष (Sensitive) मीटर से युजित किया गया है। चित्र 4-1 जैसा एक दण्ड चुम्बक भी प्राप्य है, जिसका चुम्बकीय क्षेत्र अध्याय 2 में पर्यालोचित किये गये क्षेत्र के समान है। जब दण्ड चुम्बक को अकस्मात् कुंडल में घुसा दिया जाता है (चित्र 4-2) तो गैल्वेनोमीटर का देष्टा दाहिनी ओर को झुक जाता हुआ अवलोकित होगा।

यह देशित करता है कि कुंडल में वोल्टता उत्पादित हुई है जो परिपथ में विद्युत् धारा को प्रवाहित करती है। यह भी अवलोकित होगा कि यह वोल्टता और धारा केवल क्षणिक है क्योंकि जब कुंडल, चुम्बक के मध्य में स्थिर हो जाता है (चित्र 4-3), तब गैल्वेनोमीटर का देष्टा फिर शून्य पर वापस आ जाता है

चित्र 4-2 : **दण्ड चुम्बक-कुंडल में निवेशित करते हुए**

चित्र 4-3 : **दण्ड चुम्बक-कुंडल में स्थावर**

जो यह देशित करता है कि कोई वोल्टता उत्पन्न नहीं हो रही है। इसलिये, इससे यह परिणाम निकलता है कि उत्पन्न वोल्टता, चुम्बक के कुंडल के बीच में आपेक्षिक चलन (Relative Movement) से संयवित होती है।

जब दण्ड चुम्बक अकस्मात् कुंडल में से हटा लिया जाता है (चित्र 4-4) तब गैल्वेनोमीटर का देष्टा बाँई ओर को झुक जाता है। यह देशित करता है, कि क्षणमात्र के लिये, वोल्टता पुनः उत्पन्न हुई है। तथापि इस बार वोल्टता और उससे संयवित धारा की दिशा उलट गई हैं, क्योंकि गैल्वेनोमीटर का व्याकोचन दाहिनी ओर की जगह बाँई ओर को है।

चित्र 4-4 : **दण्ड चुम्बक-कुंडल से हटाते हुए**

ये सरल सी दिखाई देने वाली घटनायें, चुम्बकीय स्यंद के परिवर्तन, उत्पन्न वोल्टता, तथा परिणाम स्वरूप धारा, के अन्तर-सम्बन्ध (Inter-relation-ship) के आधार हैं।

इनसे निम्नलिखित परिणाम निकलते हैं :

(अ) कुंडल तथा चुम्बकीय क्षेत्र के बीच सापेक्ष गति (Relative Motion) एक वोल्टता उत्पन्न करती है।

(ब) सापेक्ष गति की दिशा का उत्क्रमण (Reversal), जनित वोल्टता की दिशा अथवा ध्रुविता का भी उत्क्रमण कर देता है।

यह दिखाया जा सकता है, कि प्रत्येक दशा में कुंडल में उत्पन्न धारा, ऐसी दिशा में होती है जो स्यंद में परिवर्तन का विरोध करती है। अर्थात्, एक ऐसे चु० गा० ब० की उत्पत्ति होती है जो चुम्बक के कुंडल में निवेशित करने पर

स्यंद में वृद्धि का और उसके हटाये जाने पर स्यंद में कमी का विरोध करता है। विश्लेषण करने पर यह ज्ञात होता है कि कुंडल में धारा ऐसी दिशा में होती है, जिसके कारण उत्पन्न हुआ बल चुम्बक के चलन का विरोध करता है। इस प्रकार यह घटना भी 'ऊर्जा स्थिरता नियम' (Law of Conservation of Energy) के अनुसार है।

उपर्युक्त सम्बन्ध को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

एक कुंडल के सापेक्ष, चुम्बकीय क्षेत्र में विचरण से एक वोल्टता जनित होती है। इस वोल्टता की दिशा ऐसी होगी कि इसके कारण उत्पन्न धारा का चुम्बक गामक बल, चुम्बकीय स्यंद के मूल विचरण का विरोध करेगा।

यह सम्बन्ध **लेंज का नियम** (Lenz's Law) कहलाता है और बहुत सी विद्युत् चुम्बकीय समस्यायों का समाधान करने के लिये प्रयोग किया जा सकता है।

प्ररोचित वोल्टताओं का परिमाण (Magnitude of the Induced Voltages) : यदि चित्र 4–1 से 4–4 तक के प्रयोगों को चुम्बक के निवेशन तथा हटाने की विभिन्न गतियों का प्रयोग करते हुए दोहराया जाय, तो यह अवलोकित होगा कि गैल्वेनोमीटर के झुकाव का परिमाण, कुंडल के सापेक्ष, चुम्बकीय क्षेत्र के चलन की गति का समानुपाती होगा।* दूसरे शब्दों में, प्ररोचित वोल्टता, चुम्बकीय स्यंद के परिवर्तन की गति की समानुपाती होती है।

गणितानुसार :

$$e = K \frac{d\phi}{dt}$$

जिसमें e प्ररोचित वोल्टता और K इकाइयों (Units) तथा कुंडल में वर्तों की संख्या पर निर्भर एक स्थिरांक (Constant) है।

प्रयोग देशित करता है, कि उपर्युक्त समीकार में वोल्टता e कुंडल में वर्तों की संख्या की समानुपाती होती है। जब स्यंद को रेखाओं अथवा मैक्सवेल (Maxwell) में मापा जाता है, तब आवश्यक अनुपात स्थिरांक (Constant of Proportionality) 10^{-8} होता है। इस प्रकार निम्नलिखित समीकार, प्ररोचित वोल्टता, कुंडल में वर्त संख्या, तथा स्यंद में परिवर्तन की गति के परिमाणात्मक (Quantitative) सम्बन्ध को व्यक्त करता है।

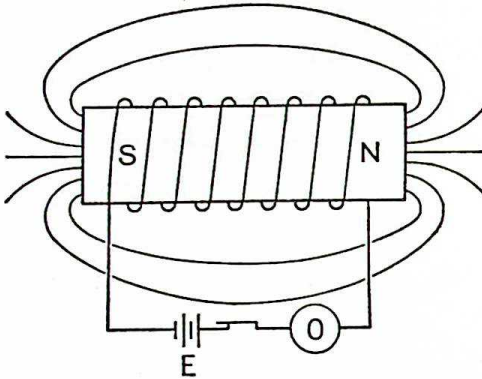
$$e = N\frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ वोल्ट}$$

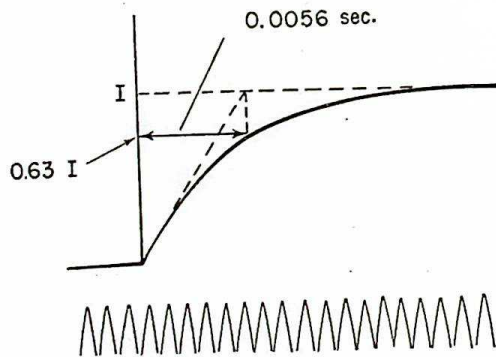
जिसमें N कुंडल में वर्त संख्या, ϕ स्यंद रेखायें और t सेकंड में समय है। वर्त संख्या और उससे ग्रथित स्यंद रेखाओं के गुणन को **'स्यंद ग्रथ'** (Flux Linkages) कहते हैं।

---

* इसी कारण, यह माना जाता है कि गैल्वेनोमीटर की प्राकृतिक अवधि (Natural Period) अल्प है तथा व्यकोचन परिशुद्ध रूप में धारा प्रवाह का परावर्तन करता है।

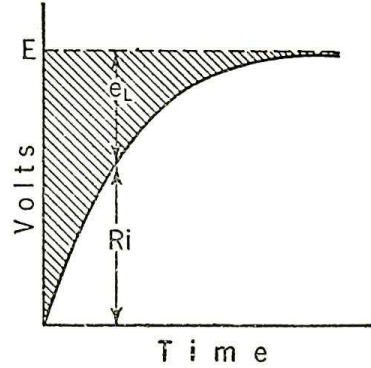
स्वयं प्ररोचन की वोल्टता (Voltage of Self-Induction)

पिछले चित्रों में गैल्वेनोमीटर के स्थान पर एक बैटरी, स्विच तथा दोलनलेखी (Oscillograph) लगा देने से प्राप्त परिपथ को चित्र 4-5 में दिखाया गया है। स्विच बन्द करने पर एक धारा बहती है और चुम्बकीय क्षेत्र स्थापित हो जाता है। यह चित्र 4-2 में दिखाए गए क्षेत्र के समान ही है और यह आशा करना तर्क संगत है, कि इस क्षेत्र के स्थापन में विरोधी प्रतिक्रियायें उत्पन्न होंगी, जो दण्ड चुम्बक के कुंडल में निवेशन के कारण उत्पन्न प्रतिक्रियाओं के समरूप होंगी। चित्र 4-6 में दिखाये गए दोलन लेखी के परिणामों से इस कथन की पुष्टि होती है। यह दिखाता है कि धारा, वोल्टता के आरोपित होने पर,

चित्र 4-5 : **धारा वहन करते हुए एक कुंडल का चुम्बकीय क्षेत्र**

तुरन्त ही अपने पूर्ण मान पर न पहुँच कर एक निश्चित गति से बढ़ती है। जैसे-जैसे धारा अपने पूर्ण मान पर पहुँचती जाती है, यह गति क्रमशः घटती जाती है। (गति का घटना परिपथ के रोध पर निर्भर करता है)। यदि कम वर्तों वाला कुंडल प्रयोग किया जाय तो धारा के

चित्र 4-6 : **एक प्ररोचि परिपथ में धारा की ट्रान्ज्येन्ट वृद्धि**

अपने अंतिम मान पर पहुँचने की अवधि बहुत कम (0·00001 सेकंड के वर्ग की) हो जायगी। परन्तु यदि अयो-चुम्बकीय परिपथ के साथ, कम रोध वाले तार के बहुत से वर्त प्रयोग किये जाँय, तो धारा को अंतिम मान तक पहुँचने में कई सेकंड का समय लग सकता है। चित्र 4-6 में दिखाई गई विशिष्ठ

अवस्था में धारा को अंतिम मान के 0·632 तक पहुँचने में 0·0056 सेकंड की अवधि लगी, जो दोलनलेख के नीचे, 1000 चक्रीय काल तरंग (Time-Wave) द्वारा मापा गया है।

यदि Ri पात का, समय के विरुद्ध अंकन किया जाय, तो इसका वक्र भी धारा के वक्र की भाँति ही होगा। इसलिये, आरोपित वोल्टता तथा Ri पात में एक अन्तर है। यह अंतर चित्र 4-7 के छायांकित (Shaded) भाग द्वारा दिखाया गया है और इसे स्वयं प्ररोचन की वोल्टता कहते हैं। इसे e_L द्वारा चिन्हित किया जाता है; क्योंकि e को, सामान्यतः, तात्क्षणिक वोल्टता (Instantaneous Voltage) और L को प्ररोचिता (Inductance) के लिये चिन्ह रूप में प्रयोग करते हैं।

चित्र 4-7 : एक प्ररोचि परिपथ में ऊर्जा संग्रहण

प्ररोचिता (Inductance)

स्वयं प्ररोचन की यह वोल्टता, जिसे कभी-कभी विरोधी वोल्टता भी कहते हैं, धारा के घटने बढ़ने की गति के अनुपात में होती है जो अंततः कुंडल में स्यंद के परिवर्तन की गति के अनुपात में होती है। इस सम्वन्ध से एकक प्ररोचिता की परिभाषा इस प्रकार की जा सकती है :

तार के किसी कुण्डल की प्ररोचिता एक हेनरी होगी, यदि 1 अम्प० प्रति सेकण्ड की गति से होता हुआ धारा परिवर्तन, कुण्डल में 1 वोल्ट का शक्मान्तर उत्पन्न करे।

गणितानुसार स्वयं प्ररोचन की वोल्टता $e = -L\frac{di}{dt}$, जिसमें e वोल्ट में, L हेनरी में, i अम्प० में तथा t सेकंड में हैं। ऋण (–) चिन्ह देशित करता है, कि उत्पन्न वोल्टता, धारा में परिवर्तन का विरोध करने वाली दिशा में होती है।

एक कुंडल में स्यंद परिवर्तन की किसी गति से उत्पन्न हुई वोल्टता का परिमाण इस प्रकार व्यक्त किया गया था ;

$$e = N\frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8}$$

इस वोल्टता की दिशा ऋणात्मक है, क्योंकि यह धारा के धनात्मक प्रवाह का विरोध करने का प्रयत्न करती है। इसलिये इसको ठीक से इस प्रकार लिखा जाना चाहिये।

$$e = -N\frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8}$$

दोनों समीकारों को मिला देने से,

$$-L\frac{di}{dt} = -N\frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8}$$

$$\therefore\ L = N\frac{d\phi}{di} \times 10^{-8}$$

अंतिम समीकार से ज्ञात होता है, कि प्ररोचिता, वर्तों की संख्या और धारा के साथ स्यंद में परिवर्तन की दर के गुणन के अनुपात में होती है। इसलिये प्ररोचिता, वर्त संख्या तथा वर्तों से ग्रथित, चुम्बकीय परिपथ के लक्षणों पर निर्भर करती है। इस प्रकार, बहुत से लौह परिपथ वाले कुंडलों की प्ररोचिता निकाली जा सकती है, जिसके लौह परिपथ का प्रतियास उनके वायु विच्छद के प्रतियास की तुलना में कम हो।

उदाहरण : चित्र 2-5 के चुम्बकीय परिपथ पर वर्तित 5000 वर्तों वाले कुंडल की प्ररोचिता निकालिये। मान लीजिये कि धारा का मान सीमित है और स्यंद घनत्व इतना है कि लौह भाग के प्रतियास की उपेक्षा की जा सकती है।

समाधान : पृष्ठ 35 के उदाहरण में यह निकाला गया था कि 20000 रेखाओं की स्यंद के लिये, वायुविच्छद में 1500 अम्प० वर्तों के चुम्बक गामक बल की आवश्यकता होगी। इसे उत्पन्न करने के लिये अपेक्षित धारा :

$$i = \frac{1500}{5000} = 0{\cdot}3 \text{ अम्प०}$$

इसलिये प्ररोचिता $L = N\frac{\delta\phi}{\delta i} \times 10^{-8}$

$$= 5000 \times \frac{20000}{0{\cdot}3} \times 10^{-8} = 3{\cdot}3 \text{ हेनरी*}$$

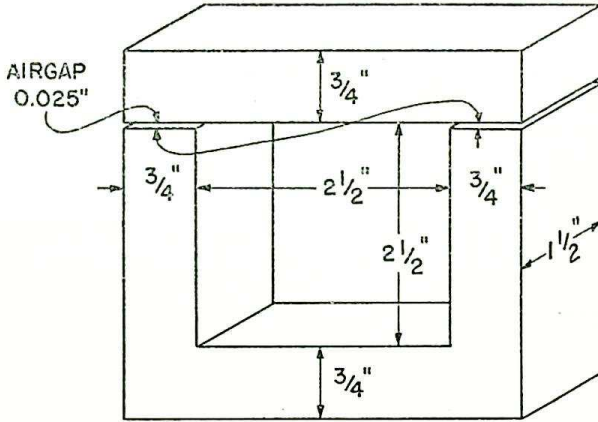
अभ्यास 4-1 : चित्र 2-5 के चुम्बकीय परिपथ पर वर्तित 2500 वर्तों वाले कुंडल की प्ररोचिता निकालिये।

अभ्यास 4-2 : चित्र 2-6 में दिखाये गए रिले (Relay) के आन्तरक (Core) पर वर्तित 250 वर्तों वाले कुंडल की प्ररोचिता निकालिये।

अभ्यास 4-3 : चित्र 2-6 में दिखाये गए रिले के आन्तरक पर वर्तित 1000 वर्तों वाले कुंडल की प्ररोचिता निकालिये ; यदि वायु विच्छद को 1/4″ से घटाकर 0·02″ कर दिया जाय।

---

* इस उदाहरण में, पदार्थ के अनुवेधन वक्र (Saturation Curve) के जानु (Knee) पर पहुंचने के कारण परिपथ के लौह भाग के लिये अधिक चु० गा० ब० की आवश्यकता होगी। इस कारण प्ररोचिता का मान कुछ घट जायगा।

अभ्यास 4-4 : चित्र 4-8 में परिवर्तक-स्तारों (Transformer Sheets) से बने हुए चुम्बकीय परिपथ पर, 1 हेनरी की प्ररोचिता के लिये, कुंडल में तार के कितने वर्तों की आवश्यकता होगी ? यदि चुम्बकीय परिपथ की खिड़की का आधा भाग, ताँबे के लिये प्रयुक्त हो सके (दूसरा आधा भाग विसंवाहन के लिये अपेक्षित हो) ; तो तार का कौन सा बड़े से बड़ा माप प्रयोग किया जा सकता है ?

चित्र 4-8 : **अभ्यास 4-4 तथा 4-5 के लिये चुम्बकीय परिपथ**

अभ्यास 4-5 : चित्र 4-8 के चुम्बकीय परिपथ पर, तार के 3000 वर्तों से कितनी प्ररोचिता प्राप्त होगी ? लौह परिपथ के अनुवेधन से प्ररोचिता में 10% की कमी होने की स्थिति में, कुंडल में कितनी धारा बहेगी ?

चुम्बकीय क्षेत्र में संग्रहित ऊर्जा
(Energy Stored in a Magnetic Field)

चित्र 4-5 के परिपथ में यह अवलोकित करना चाहिये कि, परिपथ को प्रदत्त सब की सब ऊर्जा, कुंडल में उत्पन्न ताप में ही नहीं समाप्त हो जाती। धारा के अपने अंतिम मान तक निर्माण (Building Up) के समय, शेष ऊर्जा प्ररोचिता को प्रदाय की जाती है। यह ऊर्जा निप्रथित (Dissipate) नहीं होतीं वरन् चुम्बकीय क्षेत्र में संग्रहित रहती है, और क्षेत्र के तिरोभवन (Disappearance) पर परिपथ को लौटा दी जाती है।

प्ररोचिता को प्रदत्त होनेवाली तात्क्षणिक शक्ति को, समय अवकल (Time-Differential) से गुणा कर तथा उसका अनुकलन (Integration) कर, प्ररोचिता में संग्रहित ऊर्जा का मान निकाला जा सकता है।

$$W = \int_{t=0}^{t=\alpha} P\, dt = \int_{t=0}^{t=\alpha} e_L i\, dt = \int_{t=0}^{t=\alpha} L \frac{di}{dt} i\, dt$$

समीकार में, अवकल अंशक (Incremental Element) dt कट जाता है और केवल i ही विचरणशील रह जाती है। अनुकलन की सीमायें (Limits of Integration) पहले परिच्छेद के अनुसार $i=0$ और $i=I$ हैं।

$$\text{इस प्रकार, } W = L \int_{i=0}^{i=I} i\, di = L \left[\frac{i^2}{2} \right]_{i=0}^{i=I} = L \frac{I^2}{2} \text{ जूल (Joules)}$$

जब धारा तथा प्ररोचिता काफी अधिक होती हैं (जैसा कि विद्युत् मशीनों के क्षेत्र परिपथों में) तब परिपथ में संग्रहित ऊर्जा का मान भी उपागण्य (Appreciable) होता है। वह प्रक्रिया, जिसके अनुसार परिपथ को ऊर्जा लौटाई जाती है, कुंडल में ऐसी वोल्टता की उत्पत्ति के रूप में होती है, जो कुंडल में धारा को प्रवाहित रखने के लिये उन्मुख रहती है। पृष्ठ 64 में दिये गये कथन के अनुसार, यह वोल्टता, स्यंद ग्रथन (Flux Linkage) के परिवर्तन की गति के अनुपात में होती है। यदि एक प्ररोचि परिपथ को सहसा खोलने का प्रयास किया जाय तो स्यंद का विनाश, निश्चय ही, अति शीघ्रता से होगा; और चूँकि स्यंद परिवर्तन की गति अधिक होगी, इसलिये तत्सम्बन्धी वोल्टता भी अधिक होगी। यह घटना, याँत्रिकी (Mechanics) में अक्रियता (Inertia) के सदृश है। किसी पदार्थ के काफी गति पा लेने पर उसको सहसा रोक देने का परिणाम भयंकर हो सकता है, जैसा कि मोटरों का पेड़ों अथवा टेलीफोन के खम्भों से टकराने पर देखा जाता है। इसी प्रकार ऊँची प्ररोचिता वाले कम वोल्टता के परिपथ भी भयंकर हो सकते हैं; जैसा कि कुछ विद्यार्थियों ने मध्यम एवं बड़े आकार के जनित्रों तथा मोटरों के क्षेत्र परिपथ को खोलते समय अनुभव किया होगा।

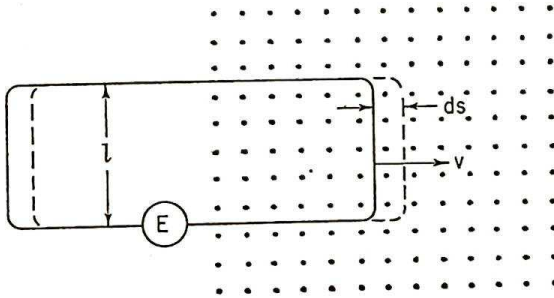
अभ्यास 4-6 : 50 अम्प० की धारा वहन करते हुए, 15 हेनरी की प्ररोचिता वाले एक जनित्र के चुम्बकीय क्षेत्र में कितनी ऊर्जा संग्रहित होगी? यदि 0·01 सेकंड में धारा को शून्य तक घटा दिया जाय तो कितनी वोल्टता उत्पन्न होगी?

परस्पर प्ररोचिता (Mutual Inductance)

स्वयं प्ररोचिता की परिभाषा, कुंडल के उस लक्षण से की गई है, जिसके कारण कुंडल में धारा के परिवर्तन से, स्वयं उसी के अन्दर एक वोल्टता जनित

होती है। इस वोल्टता का कारण, कुंडल के तत्सम्बन्धी स्यंद ग्रथन का परिवर्तन है। जब कुंडल अथवा तार इस प्रकार स्थित होते हैं, कि एक परिपथ में धारा के परिवर्तन से दूसरे परिपथ के स्यंद ग्रथन में परिवर्तन हो जाये, तब उनको **परस्पर प्ररोचिता वाला परिपथ** कहा जाता है। उस कुंडल अथवा परिपथ में जिसमें धारा का परिवर्तन हो रहा है (स्यंद परिवर्तन का प्रभव) **प्राथमिक** (Primary) परिपथ कहलाता है। जिस परिपथ में, स्यंद ग्रथन में परिवर्तन के कारण वोल्टता जनित होती है, **द्वितीयक** (Secondary) परिपथ कहलाता है।

परस्पर प्ररोचिता भी, स्वयं प्ररोचिता की इकाइयों द्वारा ही नापी जाती है। इस प्रकार **जब प्राथमिक कुंडल में 1 अम्प० प्रति सेकेंड की गति में परिवर्तित होने वाली धारा, द्वितीयक कुंडल में 1 वोल्ट की वोल्टता जनित करे, तब दोनों कुंडलों की परस्पर प्ररोचिता 1 हेनरी होगी।**

गति से जनित वोल्टताऐं (Voltages Generated by Motion) : कुंडल में स्यंद ग्रथन में परिवर्तन, केवल चुम्बकीय क्षेत्र के परिमाण के घटाने बढ़ाने से ही नहीं, वरन् क्षेत्र के सापेक्ष, कुंडल के चलन से भी किया जा सकता है। यह चित्र 4-9 में देशित किया गया है। एक अकेले वर्त का कुंडल काग़ज़ के तल के लम्ब, एकसम चुम्बकीय क्षेत्र में 'v' प्रवेग से चल रहा है। चलन की दिशा के लम्ब संवाहक की लम्बाई 'l' है। चुम्बकीय क्षेत्र का स्यंद घनत्व B है।

चित्र 4-9 : **चुम्बकीय क्षेत्र में, संवाहक के चलन के कारण, वोल्टता का जनन**

अकेले वर्त वाले कुंडल के चलन से जनित वोल्टता :

$$e = \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ वोल्ट}$$

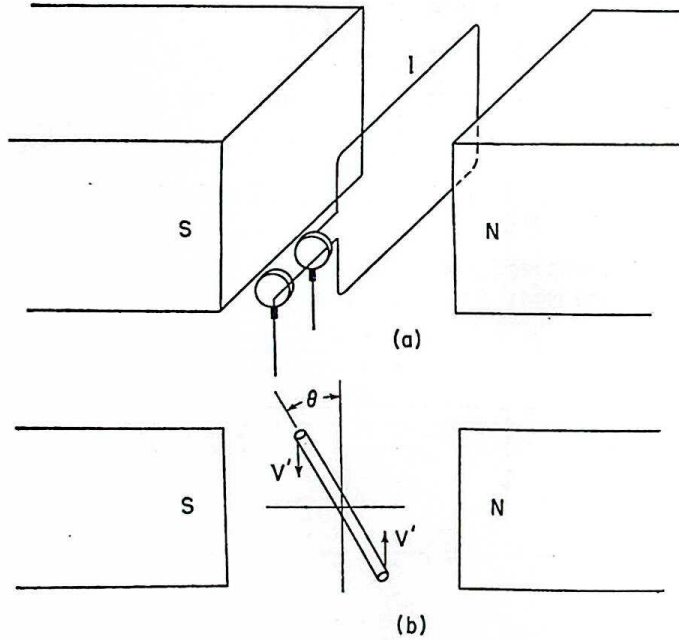
dt समय के अन्दर स्यंद में परिवर्तन, स्यंद घनत्व तथा तय किये हुए अवकल क्षेत्रफल (Differential Area) के गुणन के बराबर है।

$$e = B\frac{dA}{dt} \times 10^{-8} \text{ वोल्ट}$$

तय किया हुआ (Traversed) क्षेत्रफल, चली गई दूरी का l गुना है (जहाँ l=लम्बाई) अर्थात्

$$e = Bl \frac{ds}{dt} \times 10^{-8} \text{ वोल्ट}$$

साथ ही साथ, समय के सापेक्ष दूरी का अवकल (Differential), प्रवेग (Velocity) होता है। इस प्रकार, $e = Blv \times 10^{-8}$ वोल्ट

वोल्टता का यह समीकार अत्यधिक महत्वपूर्ण है, क्योंकि लगभग सारी ही वाणिज्यिक विद्युत् शक्ति, विद्युत् संवाहकों (अथवा कुंडल पार्श्वों) के चुम्बकीय क्षेत्र में चलन के कारण उत्पन्न होती है। अधिकांश विद्युत् जनित्रों में, संवाहकों का चलन, स्यंद के लम्ब होता है। परन्तु कुछ दशाओं में जहाँ चलन लम्ब नहीं होता वहाँ प्रवेग का, क्षेत्र के लम्ब वाला संघटक (Component) ही, वोल्टता जनित करता है।

चित्र 4-10 : एकसम क्षेत्र में परिभ्रमण करते हुए कुंडल में ज्यावर्ती वोल्टता का जनन

इस सिद्धान्त का निदर्शन, चित्र 4-10 (a) में किया गया है, जिसमें अकेले वर्त वाला एक कुंडल, एक सम चुम्बकीय क्षेत्र में परिभ्रमण करता हुआ दिखाया गया है। जनित वोल्टता को सर्पण वलय (Slip Ring) द्वारा ले जाया जाता है। रैखिकी (Geometry) अधिक परिशुद्धता से चित्र 4-10 (b) में दिखाई गई है, जिसमें प्रवेग v' (जो क्षेत्र के लम्ब है) प्रवेग v तथा कोण θ के ज्या के गुणन के बरावर है।

इस प्रकार $v' = v \sin \theta$

यदि कुंडल एक सम कोणिक प्रवेग (Uniform Angular Velocity) से परिभ्रमण कर रहा है, तब प्रत्येक कुंडल पार्श्व (Coil Side) द्वारा कुंडल में जनित वोल्टता :

$$e = Blv \; \text{Sin}\, \theta \times 10^{-8} \text{ वोल्ट}$$

यह एक प्रत्यावर्ती वोल्टता है, जिसका अध्ययन बाद में किया जायगा ।

पांचवाँ अध्याय

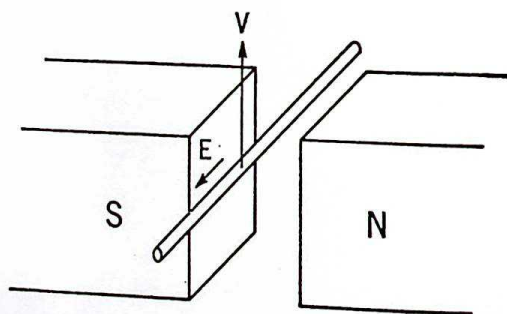
अव्यवहित धारा जनित्र

(DIRECT CURRENT GENERATORS)

मूलभूत भौतिक संबंध (Fundamental Physical Relations)

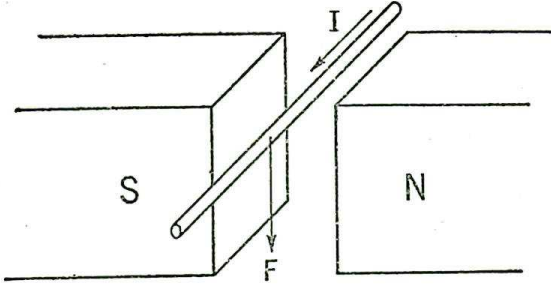
अ० धा० जनित्रों एवं मोटरों का वाद (Theory), चलनशील संवाहकों में इलेक्ट्रॉनों तथा चुम्बकीय क्षेत्रों के सम्वन्ध पर आधारित है, जिसका वर्णन पिछले अध्यायों में किया गया है। अ० धा० मशीनों में इलेक्ट्रॉनों का चुम्बकीय क्षेत्र में चलन, निम्नलिखित किसी एक प्रकार से उत्पन्न किया जाता है। पहले प्रकार में, तार में स्थित इलेक्ट्रॉनो को भौतिक रूप से (Physically) चुम्बकीय क्षेत्र में चलाया जाता है; जिससे इन पर एक विद्युत् शक्ति आरोपित हो जाती है, जो इनको संवाहक के एक सिरे पर धकेल देती है। इस प्रकार संवाहक के सिरों पर एक शक्मान्तर अथवा वोल्टता जनित हो जाती है, जैसा चित्र 5-1 में देशित किया गया है। वोल्टता का परिमाण; प्रवेग, क्षेत्र चंडता तथा क्षेत्र में संवाहक की लम्बाई के अनुपात में होता है। अत:

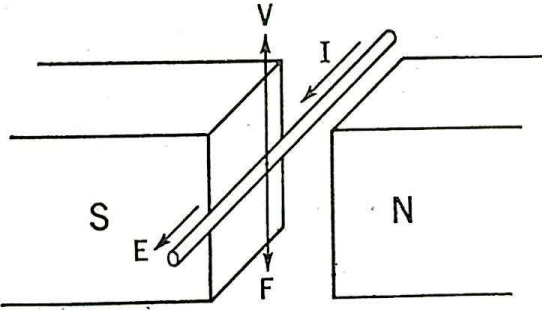
$$e = Blv \times 10^{-8} \text{ वोल्ट}$$

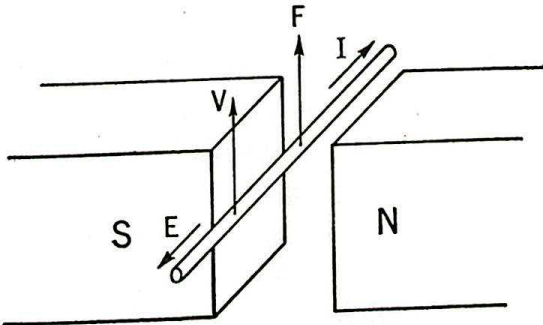
इसमें, B रेखा/वर्ग इंच, l लम्बाई इंच में, तथा v (इंच प्रति सेकंड में) प्रवेग है।

चित्र 5-1 : **चुम्बकीय क्षेत्र में चलते हुए संवाहक में वोल्टता की उत्पत्ति**

दूसरी तथा इसी से संम्वन्धित अवस्था में, संवाहक के सिरों पर एक वोल्टता आरोपित की जाती है; और परिणामत: संवाहक के अन्दर, विद्युत् धारा के रूप में, इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह अथवा चलन उत्पन्न हो जाता है। इलेक्ट्रॉनों के ऊपर लगाये हुए बल के कारण, तार पर एक पार्श्विक वितोद (Side-Thrust) उत्पन्न हो जाता है जैसा चित्र 5-2 में देशित किया गया है। इस बल का परिमाण :

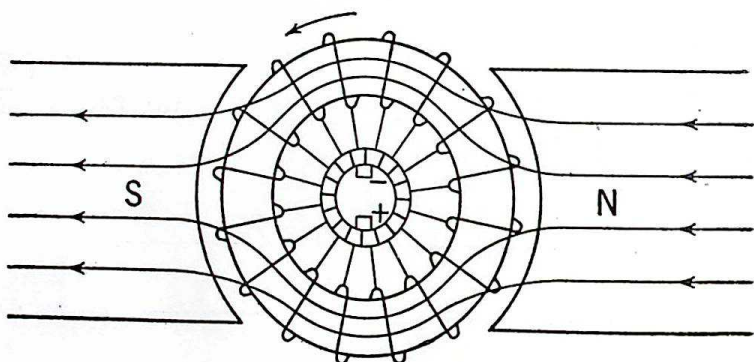
$$F = 8 \cdot 84 \ BlI \times 10^{-8} \text{ पौंड है,}$$

जिसमें B रेखा प्रति वर्ग इंच में, l इंच में तथा I अम्प० में है।

चित्र 5-2 : **चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित, धारा वहन करते हुए संवाहक पर, बल का आरोपण**

मोटरों तथा जनित्रों में, ये दोनों दशायें साथ ही साथ पाई जाती है ; चूँकि दोनों में ही चुम्बकीय क्षेत्र में संवाहकों का चलन होता है और इन्हीं संवाहकों में धारा भी प्रवाहित रहती है।

चित्र 5-3 : **जनित्र में प्रवेग, विद्युत् गामक बल और चुम्बकीय क्षेत्र का सम्बन्ध**

जनित्र में धारा प्रवाह जनित वोल्टता की दिशा में होता है। इसके कारण, गति की दिशा के विरुद्ध एक बल उत्पन्न होता है, जैसा चित्र 5-3 में

चित्र 5-4 : **मोटर में प्रवेग, विद्युत् गामक बल और चुम्बकीय क्षेत्र का सम्बन्ध**

दिखाया गया है। इसका अर्थ यह है, कि जनित्र को विद्युत्-चुम्बकीय बल के विरुद्ध एक बाहरी यांत्रिक बल (Mechanical Force) द्वारा चलाया जाना आवश्यक है। मोटर में धारा प्रवाह, वोल्टता जनन की दिशा के विरुद्ध होता है (चित्र 5-4) और संवाहक पर बल (Force), प्रवेग की दिशा में होता है; जिससे यह स्वयं अपनी गति को संधारण (Maintain) करता है।

ग्रामे-वलय (Gramme-Ring) प्ररूप का अ० धा० जनित्र : अ०धा० मशीनों की बनावट को अच्छी प्रकार अध्ययन करने के लिये यह प्रारम्भिक जानकारी आवश्यक है, कि वोल्टता जनन में उसके विभिन्न भाग किस प्रकार कार्य करते हैं। चित्र 5-5 में एक अति सरल प्रकार का अ० धा० जनित्र चित्रित किया गया है, जिसे ग्रामे-वलय प्रारूप का जनित्र कहते हैं। इस जनित्र में, लोहे

चित्र 5-5 : **एक सरल अ० धा० जनित्र**

के आपट्टित स्तारों (Laminated Sheets) का बना एक खोखला (Hollow) रम्भाकार वलय (Cylindrical Ring) भारुओं (Bearings) के ऊपर इस प्रकार आरोहित होता है कि यह चुम्बकीय ध्रुवों के बीच परिभ्रमण कर सके। वलय में स्यंद उत्तरी ध्रुव से प्रवेश कर, दक्षिणी ध्रुव पर निकलता है। एक विसंवाहित ताँबे का तार लौह वलय के चारों ओर लिपटा होता है; जैसा रेखाचित्र में दिखाया गया है। प्रत्येक वर्त एक विसंवाहित ताम्र दंड (Copper Bar) से युजित होता है। ये ताम्रदंड, चित्र के बीच में दिखाये गये एकत्रण में आरोहित होते हैं, जिसे व्यत्ययक (Commutator) कहते हैं। व्यत्ययक बहुत से स्फानित (Tapered) ताम्र दंडों का बना होता है जो एक दूसरे से विसंवाहन द्वारा अलग होते हैं। इनको एक साथ संधरित (Clamped) कर, ईषा पर आरोहित कर दिया जाता है, तथा इसे खरादित (Machined) करके, चिकने रम्भाकार तल का बना दिया जाता है। वाणिज्यिक मशीन के लिये, ऐसा एक व्यत्ययक एकत्रण (Commutator Assembly), चित्र 5-11 में दिखाया गया है। व्यत्ययक के बाहरी तल पर, विरुद्ध पार्श्वों में, कार्बन इष्टका (Carbon

Blocks) जिन्हें कूर्च (Brush) कहते हैं, स्थित रक्खे जाते हैं; जैसा कि चित्र 5-5 में दिखाया गया है।

जब धात्र (Armature) घुमाया जाता है, तो बाहरी तल वाले संवाहक, ध्रुवों के नीचे स्यंद को काटते हैं; और इस प्रकार एक वोल्टता उत्पन्न होती है। यदि परिभ्रमण प्रतिघटि (Anti-clockwise) दिशा में हो, तो उत्तरी ध्रुव के नीचे वाले संवाहक पृष्ट के ऊपर की दिशा में, वोल्टता जनित करेंगे। प्रत्येक संवाहक की वोल्टता एक दूसरे से जुड़ जाती है और इस प्रकार कूर्चों के बीच शक्मान्तर, धात्र के उस ओर वाले सब संवाहकों में जनित वोल्टता के योग के बराबर होता है। दक्षिणी ध्रुव के नीचे वाले संवाहकों में, वोल्टता पृष्ट के अन्दर की दिशा में जनित होती है और ये भी इसी प्रकार जुड़ जाती हैं; जिससे कि इस ओर का शक्मान्तर भी उतना ही होता है, जितना कि उत्तरी ध्रुव के नीचे वाले पार्श्व में। इस प्रकार दोनों वर्तनों (Windings) में धारा प्रवाह की दिशा, ऋणात्मक कूर्च से मशीन के अन्दर और धनात्मक कूर्च से बाहर की ओर को होती है।

रेखाचित्र के अध्ययन से पता चलेगा, कि परिभ्रमण, धात्र के तल पर व्यक्तिगत संवाहकों की स्थिति में परिवर्तन कर देता है, परन्तु कूर्चों के प्रति जनित वोल्टता को नहीं बदलता। **यह अ० धा० जनित्र है।**

जब कूर्च बाहरी परिपथ से युजित कर दिये जाते हैं, तो बाहरी परिपथ में, धनात्मक कूर्च से ऋणात्मक कूर्च की ओर एक धारा प्रवाहित होने लगती है। वही धारा मशीन के अन्दर ऋणात्मक कूर्च से धनात्मक कूर्च की ओर को प्रवाहित होती है। इस प्रकार मशीन के दोनों पार्श्वों में यह धारा बराबर बराबर विभाजित हो जाती है। वर्तनों में धारायें वोल्टता जनन की दिशा में ही प्रवाहित होती है। इस प्रकार संवाहकों पर उत्पन्न बल, उनके चलन के विरुद्ध होता है और जनित्र को धीमे करने का प्रयत्न करता है। इस क्रम के बलों का, चलाने वाले मोटर अथवा एंजिन (Engine) [जिसको सामान्यतः चालक (Prime-mover) भी कहते हैं] की विभ्रमिषा द्वारा अभिभूत (Overcome) होना आवश्यक होता है। आद्य-चालक यांत्रिक ऊर्जा (Mechanical Energy) प्रदाय करता है, जो जनित्र में विद्युत् ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है। इन सम्बन्धों को एक उदाहरण द्वारा स्पष्ट किया जा सकता है :

उदाहरण : चित्र 5-5 में दिखाये गए आपट्टित लौह वलय (Laminated Iron Ring) का बाहरी व्यास 6″ और आक्षिक (Axial) लम्बाई 4″ है। यह वलय, 1800 परिक्रमण प्रति मिनट की गति से परिभ्रमण कर रही है; और एकरूपतः स्थित (Uniformly Spaced) तार के 100 वर्तों से वर्तित है। प्रत्येक ध्रुव 40000 रेखा प्रति वर्ग इंच का स्यंद घनत्व उत्पन्न करता

है, और उसका ध्रुव चाप (Pole Arc) अथवा परिणाह लम्बाई 5″ है। ज्ञात करिये कि (*a*) कितनी वोल्टता जनित होगी ?

(*b*) यदि जनित्र बाहरी परिपथ को 10 अम्प० प्रदाय करता है तो आद्य चालक के ऊपर कितनी विभ्रमिषा (Torque) होगी ?

समाधान : 1. ध्रुव मुख (Pole Face) के नीचे वाले एक अकेले संवाहक में जनित वोल्टता निकालिये ?

$v = \pi \times$ व्यास $\times$ परिक्रमण प्रति सेकेंड

$= \pi \times 6 \times \frac{1800}{60} = 566$ इंच प्रति सेकंड

$l = 4''$; $B = 40000$ रेखा प्रति वर्ग इंच

$\therefore\ e = Blv \times 10^{-8}$

$= 40000 \times 4 \times 566 \times 10^{-8}$

$= 0{\cdot}91$ वोल्ट

2. ध्रुव के नीचे मालाबद्ध संवाहकों की संख्या निकालिये, जो वोल्टता जनित कर रहे हों।

ध्रुव अन्तराल (Pole Pitch) $= \frac{6\pi}{2} = 9{\cdot}45$ इंच

सक्रिय (Active) मालावद्ध संवाहकों का भाग $= \frac{\text{ध्रुव चाप}}{\text{ध्रुव अन्तराल}} = \frac{5}{9{\cdot}45}$

इसलिये सक्रिय मालावद्ध संवाहकों की संख्या $= 50 \times \frac{5}{9{\cdot}45} = 26{\cdot}5$

(चूँकि यह केवल एक अनुपात देशित करता है, इसलिये दशमलव को ऐसे ही रहने दिया जा सकता है)।

3. जनित वोल्टता का मान, सक्रिय संवाहकों तथा प्रति संवाहक वोल्टता के गुणन के बराबर है

$\therefore\ E = 0{\cdot}91 \times 26{\cdot}5 = 24$ वोल्ट

4. एकी (Single) संवाहक पर बल निकालियें। (प्रत्येक संवाहक में धारा, प्रदत्त धारा की आधी होने के कारण 5 अम्पीयर है)।

$F = 8{\cdot}84\ Bl\ I \times 10^{-8}$ पौंड

$= 8{\cdot}84 \times 40000 \times 4 \times 5 \times 10^{-8}$

$= {\cdot}071$ पौंड

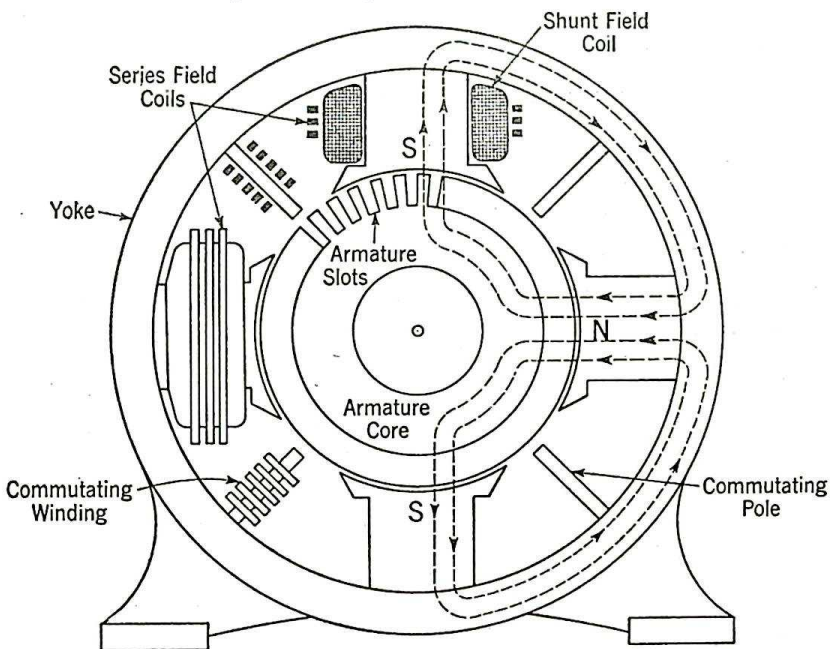
5. प्रत्येक पार्श्व में सक्रिय संवाहकों की संख्या 26·5 है ; अर्थात् समस्त परिणाह (Periphery) में 53 है। इसलिये स्पर्शरेखीय (Tangential) बल :

$F = 53 \times 0{\cdot}071 = 3{\cdot}76$ पौंड

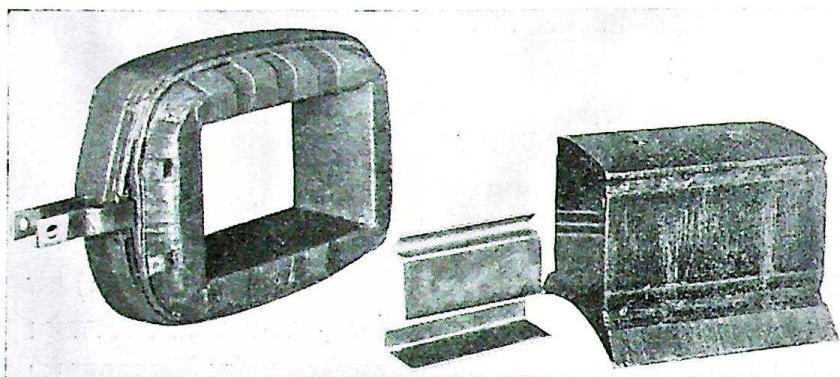
6. विभ्रमिषा = बल × लीवर बाहु (Lever-arm)
$= 3 \cdot 76 \times 3 = 11 \cdot 3$ इंच पौंड **(उत्तर)**

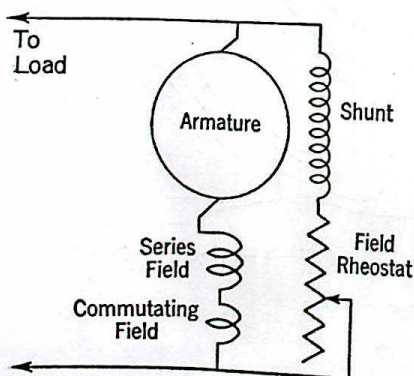
अभ्यास 5-1 : यदि वलय का बाहरी व्यास 4″ हो और लम्बाई 5″, तो उपर्युक्त निश्चय को फिर से निकालिये। मान लीजिये कि ध्रुव चाप, ध्रुव अन्तराल का $\frac{2}{3}$ है, और स्यंद घनत्व उतना ही; अर्थात् 40000 है। प्रदत्त धारा 20 अम्प० है।

वाणिज्यिक मशीनों का निर्माण
(Construction of Commercial Machines)

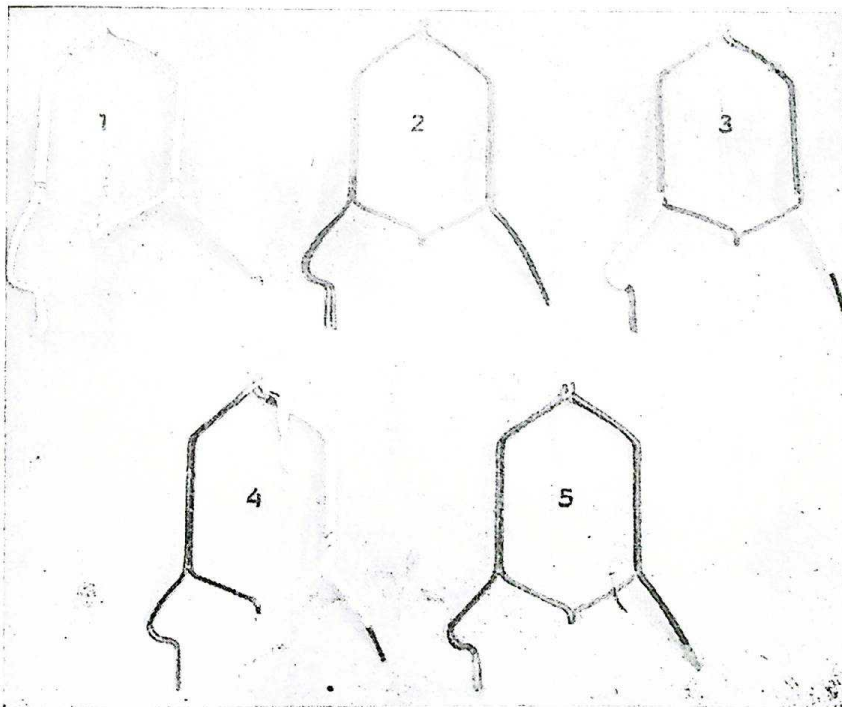
चित्र 5-5 में दिखाये गये स्वरूप के अनुसार बहुत ही कम अ० धा० मशीनें बनाई गई हैं। इसका कारण है कि यह प्रत्चन (Design) दक्ष (Efficient) नहीं है और दूसरे अच्छे प्ररूपों ने इसे स्थानान्तरित कर दिया है। चित्र 5-6 में, एक आधुनिक चार ध्रुवों वाली मशीन का उद्रेख दिखाया गया है।

चित्र 5-6 : चुम्बकीय परिपथ तथा क्षेत्र वर्तनों को प्रदर्शित करती हुई एक अ० धा० मशीन

आपट्टित इस्पात छिद्रकाओं (Laminated Steel Punchings) का बना हुआ एक भ्रमिता (Rotor) [जिसमें धात्र (Armature) के संवाहक, खाँचों (Slots) में स्थित होते हैं], विद्युत् चुम्बकों से संघटित (Composed) एक संधार (Frame) के अन्दर परिभ्रमण करता है। मशीन के मुख्य संरचना अंशक

(Structural Element) को **योक** (Yoke) कहते हैं, जो सामान्यतः भारी वेल्लित इस्पात स्कंध (Heavy Rolled Stock) का बना होता है। यह ध्रुव खण्डों (Pole-Pieces) को आधारित करता है, और एक ध्रुव से

चित्र 5-7 : **एक 50 H. P., 850 प० प्र० मि०, 230 वोल्ट की अ० धा० मशीन के मुख्य क्षेत्र कुंडल तथा ध्रुव इत्यादि**

दूसरे ध्रुव तक चुम्बकीय स्यद के लिये संवाहक का कार्य करता है। ध्रुव-खण्ड, इस्पात आपट्टनों के बने होते हैं। इनको ठोस इष्टका बनाने के लिये एक जगह एकत्रित कर आपस में रिवेट (Rivet) कर दिया जाता है जैसा चित्र 5-7 में दिखाया गया है। यह ध्रुवखण्ड, योक में बोल्ट (Bolt) कर दिये जाते हैं और क्षेत्र कुंडलों (Field Coils) को आधारित करते हैं, जिनमें सामान्यतः पतले तार के बहुत से वर्त होते हैं। क्षेत्र कुंडलों को माला में युजित किया जाता है। तब इन्हें जनित्र के मुख्य अवसानों से एक नियंत्रक रोध (Control Resistance) अथवा विचरोधक (Rheostat) के द्वारा युजित कर दिया जाता है। क्षेत्र कुंडलों का ऐसा विन्यास, (Arrangement) पार्श्वायिन क्षेत्र (Shunt Field) कहलाता है; क्योंकि कुंडल, जनित्र अवसानों से समानान्तर में युजित हैं। यह चित्र 5-8 में दिखाया गया है जो

चित्र 5-8 : **डायनेमो पुगन का रूढ़िवादी निरूपण**

रेखाचित्रीय निरूपण (Diagrammatic Representation) द्वारा यह दर्शित

करता है कि अ० धा० जनित्र के विभिन्न अंशकों के युजन किस प्रकार किये जाते हैं। जनित्र की मुख्य धारा, मुख्य क्षेत्र ध्रुवों पर वर्तित तार के थोड़े से वर्तों में से और मुख्य ध्रुवों के बीच, दूसरे कुछ सँकरे (Narrow) ध्रुवों में से होकर प्रवाहित होती हैं। इन सँकरे ध्रुवों को अन्तर ध्रुव (Interpole) अथवा **व्यत्ययन ध्रुव** (Commutating Pole) कहते हैं। इन ध्रुवों की क्रिया की व्याख्या बाद में की जायगी। भ्रमिता, पतले स्तारों अथवा आपट्टनों का बना होता है जो छिद्रकित (Punch) कर इस प्रकार एकत्रित कर दी जाती हैं, कि इनका आकार रम्भाकार होता है, और इनके तल पर आक्षिक (Axially) खाँचे बने होते हैं।

चित्र 5-9 : अ० धा० मोटर अथवा जनित्र के लिये पाँच धात्र कुंडल
(ढलाई तथा विसंवाहन के लिये उत्तरोत्तर क्रम दर्शित कराते हुए)

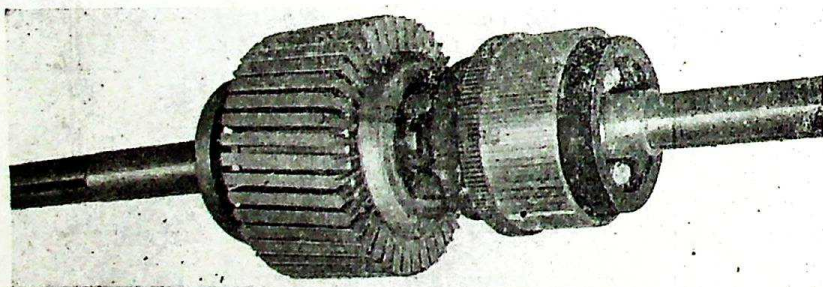
बड़ी मशीनों में, ये खाँचे सामान्यतः सीधे पार्श्वों वाले होते हैं, जिससे कि ये चित्र 5-9 में दिखाये गये आकृति वर्तित (Form Wound) कुंडल, खाँचों में रक्खे जा सकें। दाँतों के सिरों को नौच (Notch) कर दिया जाता है जिससे कि सख्त लकड़ी अथवा रेशे (Fibre) का स्फान (Wedge), छात्र कुंडलों को अपनी स्थिति में रखने के लिये लगाया जा सके। निर्माण करते हुए, आपट्टित इस्पात एकत्रण को, जिसे धात्र आन्तरक कहते हैं, ईषा के ऊपर दबा दिया जाता है। व्यत्ययक एकत्रण को भी ईषा के ऊपर इसी प्रकार दबा दिया जाता है। पूर्व-निर्मित

6

(Pre-formed) कुंडलों को खाँचों में रखकर स्फान से स्थिर कर दिया जाता है। इसके बाद, कुंडल के सिरों को व्यत्ययक से युजित कर दिया जाता है, जैसा चित्र 5-10 में दिखाया गया है। भ्रमिता, भारुओं के ऊपर आधारित होती है, जो अधिकांश मशीनों में, एक संधार अथवा योक से बोल्ट किये हुए पार्श्व ढकनों पर आधारित होती हैं। ये पार्श्व ढकने (End-bells) कूर्च-धरों (Brush-holders) को भी आधारित करते हैं जिनमें कार्बन इष्टकायें अथवा कूर्च स्थिर होते हैं।

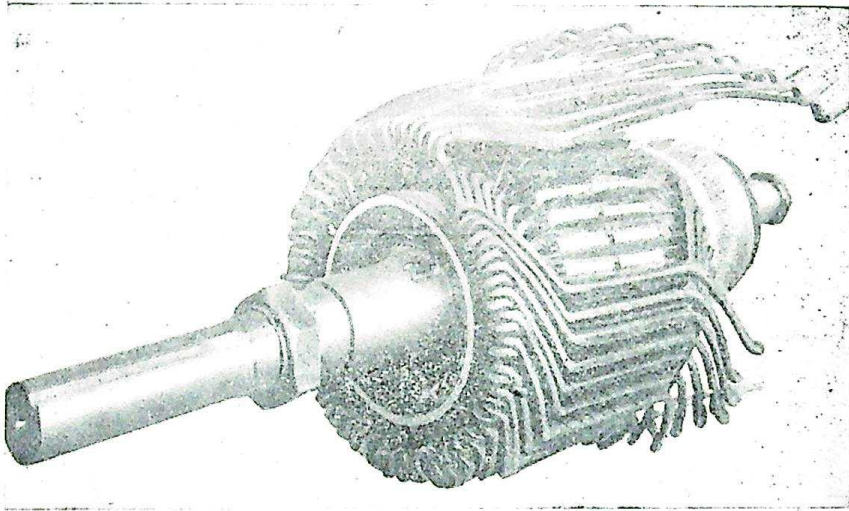
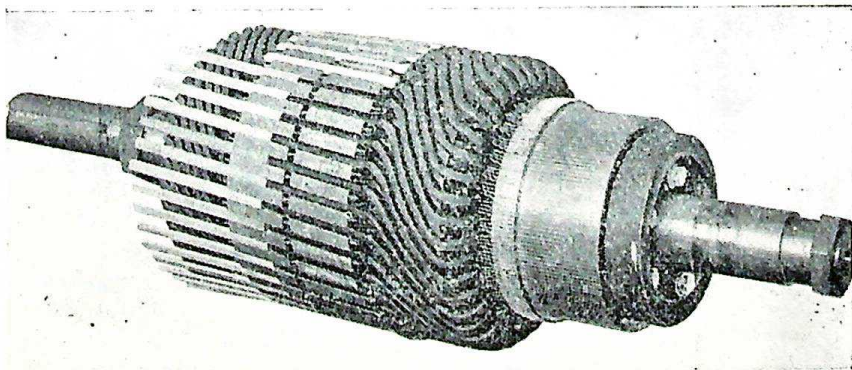
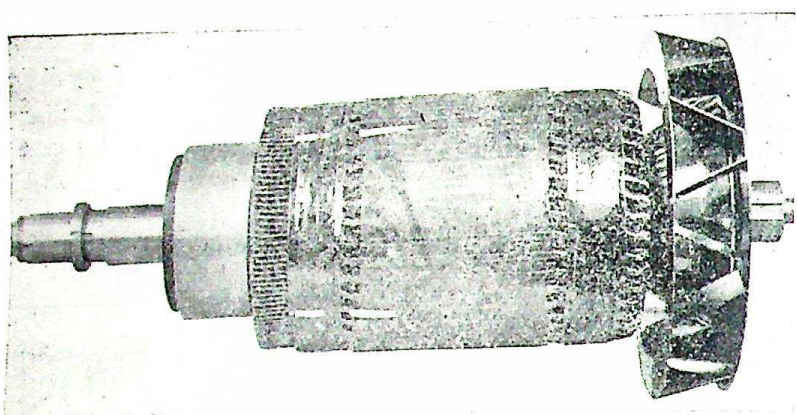
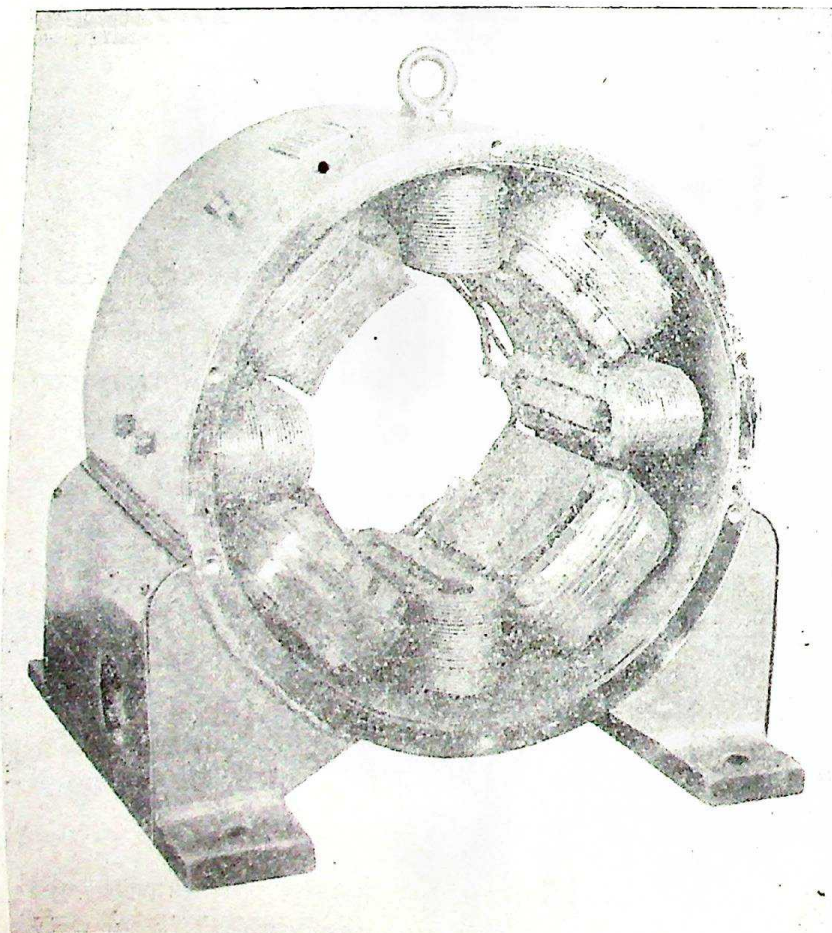
एक वाणिज्यिक मशीन के विभिन्न भागों के दृश्य-क्रम चित्र 5-12 में दिखाये गये हैं। इनसे पाठक को मशीन के उपर्युक्त भागों को पहचानने में सहायता मिलेगी, क्योंकि ये वास्तविक निर्माण प्ररचना में इसी रूप में पाये जाते हैं। चित्र 5-13 में एक मोटर एकत्रण का दृश्य दिखाया गया है।

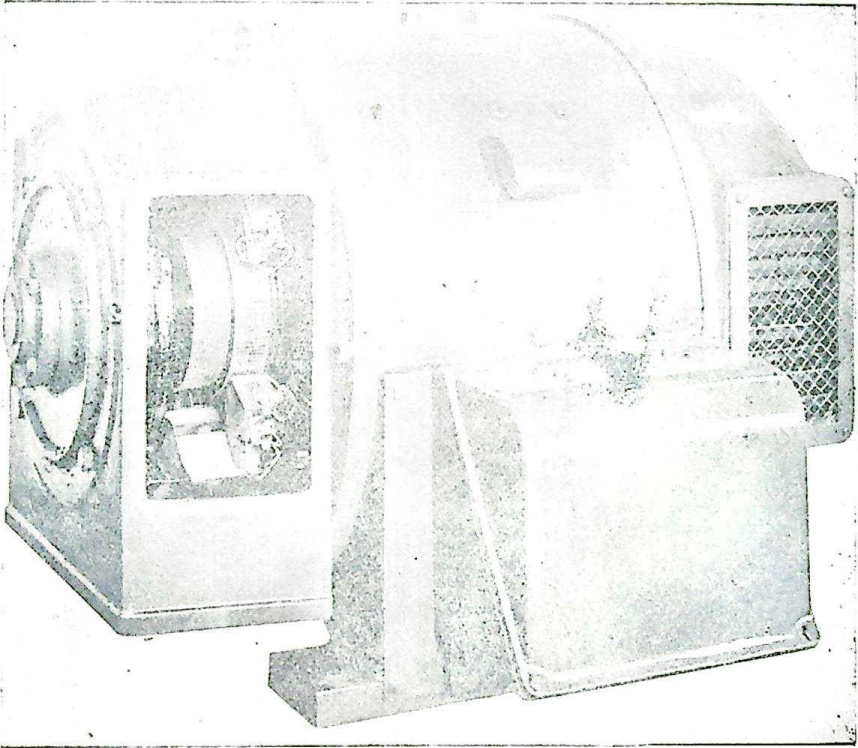
धात्र वर्तन (Armature Winding)

चित्र 5-10 में धात्र तल पर स्थित खाँचों में कुंडलों को रखने की विधि दिखाई गई है। व्यत्यपन से युजित करने की रीति भी दिखाई गई है। फोटो में परिपथ का अनुरेखन (Tracing) करना अति कठिन होता है, इसलिये चित्र 5-14 में धात्र वर्तन का विकसित रेखाचित्र (Developed Diagram) दिखाया गया है जो अ० धा० धात्र वर्तनों के सामान्य प्ररूपों को निदर्शित करने के लिये प्रयुक्त होता है। कार्यशाला तथा मरम्मत करने वालों को दिये जाने वाले,

चित्र 5-10 (a): अ० धा० मोटर अथवा जनित्र का परिभ्रमणशील धात्र (बिना वर्तित हुआ)

वर्तनों के विस्तृत विवरण (Specifications) सामान्य प्ररूप भी इससे निदर्शित होते हैं।

इस चित्र में वर्तन को प्रतिवेल्लित (Unrolled) अथवा चपटा (Flattened) कर दिया गया है, जिससे कि परिपथ और युजन सरलता से समझे जा सकें। कूर्चों की स्थिति इस प्रकार होती है कि वे उस कुंडल का लघु परिपथन (Short Circuit) कर दें जिसके पार्श्व दो ध्रुवों के बीच में हों। यदि विद्यार्थी, रेखाचित्र

में मध्य वाले ऋणात्मक कूर्च के नीचे स्थित दाहिनी ओर वाले व्यत्ययक दण्ड से बाणों की दिशा में, वर्तन का अनुरेखण आरम्भ करे तो उसे धनात्मक कूर्च तक पहुँचने में 10 सक्रिय संवाहक मिलेंगे। ये संवाहक परिपथ अनुरेखण की दिशा में ही वोल्टता उत्पन्न कर रहे हैं। इस प्रकार धनात्मक और ऋणात्मक कूर्चों के बीच की वोल्टता इन दस संवाहकों की वोल्टता के योग के बराबर है। यदि विद्यार्थी, अब परिपथ का अनुरेखण विरुद्ध दिशा में करे तो उसे रेखाचित्र की

चित्र 5-10(b) : अ० धा० मोटर अथवा जनित्र का परिभ्रमणशील धात्र (वर्तित होता हुआ), कुंडलों का आधा भाग खाँचों की नली में दिखाई दे रहा है और दूसरा भाग खाँचे के शीर्ष में रक्खे जाने के लिये तैयार है

चित्र 5–10 (c) : अ० धा० मोटर अथवा जनित्र का परिभ्रमणशील धात्र (लगभग पूरा होता हुआ), कुछ कुंडल अपने स्थान में दिखाई दे रहे हैं। कुछ स्फान अपने नियत खाँचों में और कुछ उनमें रक्खेने जा के लिये तैयार दिखाई दे रहे हैं

चित्र 5-10(d):अ०धा० मोटर या जनित्र के लिए एक परिभ्रामी धात्र का पूर्ण दृश्य

चित्र 5–11 : पार्श्वायन वर्तित अ० धा० मोटर का वर्तित स्थावर क्षेत्र

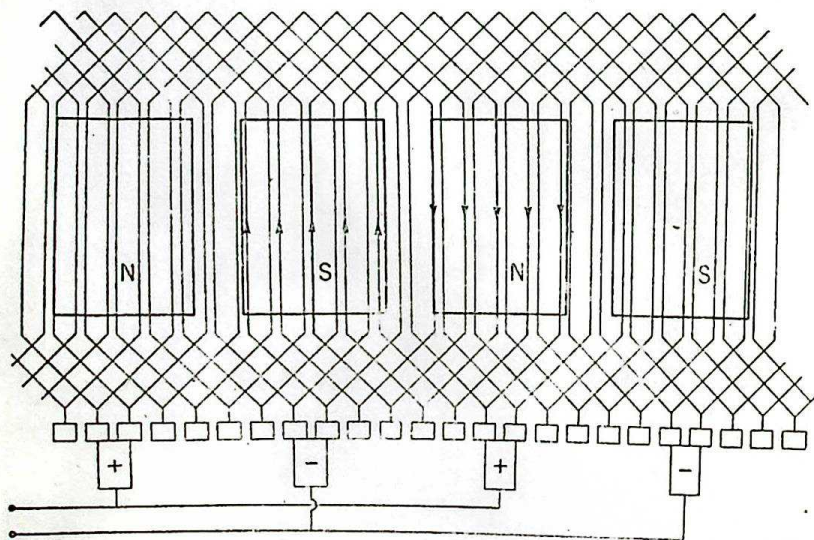
बाँई ओर वाले धनात्मक कूर्च तक पहुँचने में फिर से संवाहक मिलेंगे। ये दसों इस बार भी परिपथ अनुरेखण की दिशा में ही वोल्टता उत्पन्न कर रहे हैं। मशीन के संमितीय (Symmetrical) होने के कारण, यह वोल्टता भी पहली वाली वोल्टता के बराबर होगी। इस कारण दोनों धनात्मक कूर्चों का युजन किया

चित्र 5-12 : **25 H.P., 500/1500 प० प्र० मि०, 230 वोल्ट** की समायोज्य वेग अ० धा० मोटर

जा सकता है। रेखाचित्र के दाँई ओर वाले ऋणात्मक कूर्च से निकलते हुए दो परिपथ और मिलेंगे, जिनकी वोल्टता भी उतनी ही है। इस प्रकार मशीन के अन्दर ऋण अवसान से धन अवसान तक जाते हुए चार समानान्तर परिपथ हैं। इस प्ररूप के वर्तन में [जिसे लैप वर्तन (Lap Winding) कहते हैं] उतने ही समानान्तर पथ होते हैं जितने कि ध्रुव। दृष्टान्त के लिये 8 ध्रुव वाली मशीन में 8 समानान्तर पथ होंगे, (प्रत्येक ऋणात्मक कूर्च क्रम से दो दो)। साथ ही धनात्मक कूर्चों की संख्या भी उतनी ही होगी, जितने कि ध्रुव युग्म (Pole Pairs); और उतने ही ऋणात्मक कूर्च भी होंगे। सरलता के लिये प्रत्येक कुंडल-पार्श्व के लिये एक ही संवाहक दिखाया गया है। अवसानों (Terminals) पर अपेक्षित वोल्टता प्राप्त करने के लिये एकी वर्त कुंडलों के स्थान पर बहुवर्तीय कुंडल

(Multiturn Coils) प्रयुक्त होते हैं। तथापि, युजन की विधि वैसी ही होती है, मानो कि कुंडल में एक वर्त ही हो। यद्यपि उपर्युक्त प्ररूप का वर्तन सामान्य है, तथापि दूसरे प्ररूप भी विस्तृत रूप से प्रयुक्त होते हैं। इन सभी वर्तनों का विन्यास इस प्रकार होता है कि ध्रुव मुखों के नीचे स्थित, सभी संवाहकों में जनित वोल्टता एक दूसरे के साथ जुड़कर कूर्चों के बीच कुल वोल्टता उत्पन्न कर सके।

जनित वोल्टता (Generated Voltage)

इस प्ररूप की मशीन में, जनित वोल्टता तथा विभ्रमिषा की संगणना उसी विधि से की जाती है, जिस प्रकार सरल वलय वर्तन (Simple Ring Winding) के लिये पहले की गई है।

उदाहरण: एक चार ध्रुवों वाली मशीन में, जैसी कि चित्र 5-12 में निदर्शित की गई है, धात्र की लम्बाई 8″ और व्यास 10″ है। इसमें 40 खाँचे

चित्र 5-13 : **चार ध्रुवी मशीन के लिये लैप वर्तन**

और उतने ही व्यत्ययक दण्ड हैं। ध्रुव चाप 6″ है और ध्रुव की लम्बाई 8″ है। स्यंद घनत्व 45000 रेखा प्रति वर्ग इंच है और धात्र की गति 2000 प० प्र० मि० है। (*a*) अवसानों पर 230 वोल्ट प्राप्त करने के लिये, धात्र के प्रत्येक कुंडल में कितने वर्तों की आवश्यकता होगी? (*b*) मशीन के 300 अम्प० की धारा प्रदाय करने पर, आद्यचालक की विभ्रमिषा क्या होगी? (*c*) अश्व शक्ति में आदा (Input) निकालिये?

समाधान : 1. एकी संवाहक में जनित वोल्टता निकलिये ।

$e = Blv \times 10^{-8}$ वोल्ट

$= 45000 \times 8 \times 10\pi \times \frac{2000}{60} \times 10^{-8}$

$= 3{\cdot}78$ वोल्ट

2. माला युजित संवाहकों की संख्या निकालिये ।

अपेक्षित सक्रिय संवाहक $= 230/3{\cdot}78 = 61$. अपेक्षित माला संवाहकों की कुल संख्या, सक्रिय माला संवाहकों तथा ध्रुव अन्तराल और ध्रुव चाप के अनुपात के गुणन के बराबर होती है ।

$\therefore$ अपेक्षित माला संवाहकों की कुल संख्या $= 61 \times \frac{10\pi/4}{6} = 80$

3. प्रति कुंडल वर्त संख्या निकालिये ।

कुण्डलों की संख्या खाँचों के बराबर ही होती है । इसलिये कुल 40 कुंडल हैं । चूंकि समानान्तर पथ 4 हैं इसलिये माला में युजित कुंडलों की संख्या 10 है । एक कुंडल के प्रत्येक वर्त में दो संवाहक होते हैं; इसलिये एक परिपथ में प्रत्येक कुंडल के एक-एक वर्त से 20 माला युजित संवाहक प्राप्त होते हैं ।

इसलिये आवश्यक वर्त संख्या $= \frac{80}{20} = 4$ वर्त प्रति कुंडल (उत्तर)

4. प्रत्येक खाँचे पर बल (Force) निकालिये ।

प्रत्येक खाँचे में 8 संवाहक हैं (प्रत्येक खाँचे में दो कुंडल-पार्श्व हैं) । प्रत्येक संवाहक में कुल धारा का 1/4 भाग बहता है ।

$F = 8{\cdot}84 BlI \times 10^{-8}$ पौंड

$= 8{\cdot}84 \times 45000 \times 8 \times \frac{300}{4} \times 8 \times 10^{-8}$

$= 19{\cdot}1$ पौंड

5. कुल सक्रिय खाँचों के कारण बल :

सक्रिय खाँचे $=$ कुल खाँचे $\times \frac{\text{ध्रुव-चाप}}{\text{ध्रुव अन्तराल}}$

$= 40 \times 0{\cdot}763$

$= 30{\cdot}4$

स्पर्शी बल (Tangential Force) $= 30{\cdot}4 \times 19{\cdot}1$

$= 580$ पौंड

6. विभ्रमिषा $=$ स्पर्शी बल $\times$ अर्धव्यास

$= 580 \times \frac{5}{12} = 242$ पौंड-फीट

7. आदा अश्व शक्ति (Input Horse Power)

$$hp = \frac{2\pi \times \text{विभ्रमिषा} \times \text{प० प्र० मि०}}{33000} = 2\pi \times 242 \times \frac{2000}{33000} = 92$$

अभ्यास 5-2 : यदि स्यंद को रेखा 35000 प्रति वर्ग इंच तक घटा दिया जाय तो जनित वोल्टता क्या होगी ?

अभ्यास 5-3 : यदि धारा का मान उतना ही रहे तो, स्यंद घनत्व को 35000 रेखा प्रति वर्ग इंच तक घटाने का विभ्रमिषा पर क्या परिणाम होगा ?

अभ्यास 5-4 : गति (प० प्र० मि०) को 20% घटा देने का वोल्टता पर क्या प्रभाव होगा ?

अभ्यास 5-5 : गति (प० प्र० मि०) को 20% घटा देने का विभ्रमिषा पर क्या प्रभाव होगा ? (धारा तथा स्यंद के मान को पहले जितना ही मान लीजिये) ।

अभ्यास 5-6 : निम्नलिखित परिवर्तन करके, उपर्युक्त उदाहरण जैसी ही मशीन की अवसान वोल्टता (Terminal Voltage) की संगणना कीजिये ।

धात्र व्यास ... ...7 इंच
धात्र लम्बाई ... ...4 इंच
धात्र खाँचों की संख्या ... ...36.
प्रति कुंडल वर्त संख्या ... ...4.
स्यंद घनत्व ... ...40000 रेखा प्रति वर्ग इंच
ध्रुव चाप ... ...3.5 इंच
वेग ... ...1200 प० प्र० मि०

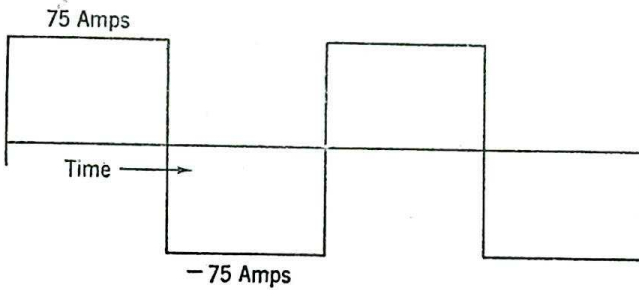
जब यह जनित्र 200 अम्प० धारा प्रदाय कर रहा हो तो उसको चलाने के लिये विभ्रमिषा तथा आदा अश्व शक्ति निकालिये ।

ऊपर वाले उदाहरण तथा अभ्यास इस तथ्य पर जोर देते हैं कि किसी मशीन की वोल्टता, मूलतः, स्यंद घनत्व तथा वेग से प्रभावित होती है । इस प्रकार, यदि किसी एकसम वेग के जनित्र की वोल्टता का नियंत्रण करना अपेक्षित हो, तो यह सामान्यतः, स्यंद का परिवर्तन करके किया जाता है । स्यंद परिवर्तन, साधारणतया, पार्श्वयन क्षेत्र परिपथ के बाहरी रोध में विचरण करके प्राप्त किया जाता है । वेग के परिवर्तन से भी जनित वोल्टता में परिवर्तन हो जायगा । यह लक्षण विशेष रूप से अ० धा० मोटर के प्रवर्तन तथा लक्षणों के अध्ययन के लिये महत्त्वपूर्ण है ।

विभ्रमिषा, स्यंद घनत्व और धात्र में बहने वाली धारा पर निर्भर करती है । जब जनित्र से धारा प्रदाय की जाती है; तो जनित वोल्टता तथा धारा के गुणन से निरूपित होने वाली ऊर्जा आद्यचालक से ली जाती है । **आन्तरिक हानियों** (Internal Losses) **को छोड़कर यांत्रिक आदा** (Mechanical Input) **विद्युत् प्रदा** (Electrical Output) **बराबर होती है ।**

व्यत्ययन (Commutation)

यद्यपि व्यत्ययक के प्रकार्य की संक्षिप्त व्याख्या पहले भी की गई है, तब भी इसका अधिक विस्तृत अध्ययन आवश्यक है क्योंकि अ० धा० मशीनों के संतोषजनक प्रवर्तन के लिये कूर्चों और व्यत्ययक का उचित व्यवस्थापन और संधारण अति महत्त्वपूर्ण है।

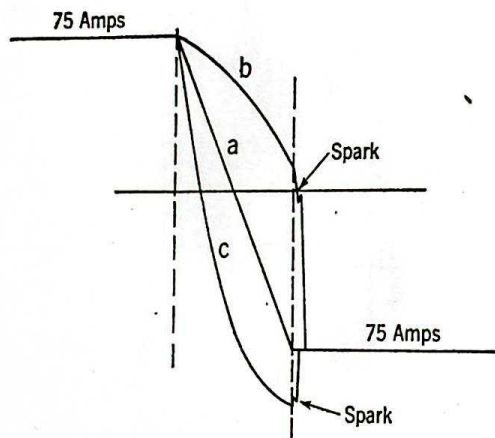
पृष्ठ 61 के उदाहरण में दी गई मशीन का प्रत्येक संवाहक 75 अम्प० धारा वहन करता है। रेखाचित्र 5-14 यह दर्शित करता है कि जैसे ही कुंडल

चित्र 5-14 : अ० धा० जनित्र अथवा मोटर के एक कुंडल में तात्क्षणिक धारा

एक कूर्च के पास से पारण (Pass) करता है, वैसे ही प्रत्येक कुंडल में धारा उत्क्रमित हो जाती है। यह रेखाचित्र धारा का +75 से −75 अम्प० का तात्क्षणिक परिवर्तन दर्शित करता है। वस्तुतः यह असम्भव है, क्योंकि कुंडल की प्ररोचिता, धारा का तात्क्षणिक परिवर्तन नहीं होने देगी। वास्तव में धारा उतने ही अल्प समय में उत्क्रमित हो जानी चाहिये, जितने समय तक कि कुंडल कूर्च द्वारा लघु-परिपथित होता है। यदि कूर्च की चौड़ाई एक व्यत्ययक दण्ड (Commutator Bar) की चौड़ाई के बराबर हो तो इस उदाहरण की मशीन में वह समय, जिसमें धारा का यह परिवर्तन होगा; $\frac{1}{40}$ परिक्रमण (Revolution) के बराबर है। यह 0·00075 सेकेंड है। इसलिये, धारा के परिवर्तन की गति

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{150}{0{\cdot}00075} = 200000 \text{ अम्प० प्रति सेकेंड}$$

साधारणतया, ऐसे कुंडल की प्ररोचिता लगभग ·03 मि० हे० होगी। इतनी अल्प प्ररोचिता से भी 6 वोल्ट की प्रतिकारी वोल्टता (Reactance Voltage) जनित होगी, यदि परिवर्तन की औसत गति संधारित रहे।

व्यत्ययक से युजन करने के लिये, कार्बन ईष्टका (Corbon Blocks) अर्थात् कूर्चों का प्रयोग सामान्य है। कूर्चों के, सापेक्षतया, अधिक रोध के कारण व्यत्ययक के उस भाग में जो कर्चों के स्पर्श में रहता है, धारा घनत्व लगभग एकसम रहता है। (व्यत्ययक तथा कूर्चों के बीच, वोल्टता पात लगभग 1 वोल्ट होता है और यह धारा के विभिन्न मान के होने पर भी लगभग इतना ही रहता है)। व्यत्ययन

के समय कूर्च स्पर्श क्षेत्रफल (Brush Contact Area) में परिवर्तन के कारण, कुंडल में धारा का उत्क्रमण (Reversal) तब तक संतोषजनक रूप से होता है जब तक कि प्रतिकारी वोल्टता (Reactance Voltage) वोल्ट कूर्चपात से बहुत अधिक न बढ़ जाय। उच्च प्रतिकारी वोल्टताओं के लिये, (जैसा कि उपर्युक्त उदाहरण में है) दूसरी विधियों का प्रयोग आवश्यक है।

चित्र 5–15 : व्यत्ययन के समय, वास्तविक कुंडल धारा
(a) ठीक व्यवस्थापित, (b) कम व्यत्ययित, (c) अति व्यत्ययित

लगभग सभी आधुनिक मशीनों में, व्यत्ययन होते हुए कुंडलों के अन्दर एक वोल्टता निवेशित करा दी जाती है जो लगभग प्रतिकारी वोल्टता के बराबर होती है। यह वोल्टता मुख्य ध्रुवों के बीच सूकरे ध्रुव लगा कर निवेशित कराई जाती है। इन ध्रुवों को अन्तर-ध्रुव (Interpole) अथवा व्यत्ययन ध्रुव (Commutating Pole) कहते हैं। ये ध्रुव माला वर्तन (Series Winding) द्वारा प्रदीपित (Excite) किये जाते हैं, जिसके कारण, इनके द्वारा उत्पन्न स्यंद और जनित वोल्टता, धात्र धारा के अनुपात में होती है। चित्र 5·6 में ये अन्तर-ध्रुव दिखाये गये हैं। इन अन्तर-ध्रुवों के कारण, समय के साथ धारा का परिवर्तन लगभग एकसम होता है, जैसा कि चित्र 5-15 के वक्र (a) से देशित है। अन्तर ध्रुवों के बिना धारा परिवर्तन वक्र (b) के अनुसार होगा और जैसे ही कुंडल कूर्च से अलग होगा वैसे ही भीषण स्फुलिंग (Spark) उत्पन्न हो जायगा। यदि अत्यधिक व्यत्ययन वोल्टता निवेशित करा दी जाय, तो भी यह संभव है कि धारा केवल परिवर्तित ही नहीं, वरन् अति-प्ररोहित (Overshoot) हो जाएगी और तब भी स्फुलिंग हो सकता है। इसलिये यह महत्वपूर्ण है कि व्यत्ययन वोल्टता ठीक परिणाम की हो।

जब धात्र धारा का मान कम होता है; तो केवल अल्प प्रतिकारी वोल्टता ही उत्पन्न होती है और इसलिये अपेक्षित व्यत्ययन वोल्टता का मान भी कम ही

होता है। अन्तर-ध्रुव पर माला वर्तन द्वारा यह विचरणशील वोल्टता अपने आप ही प्राप्त हो जाती है। अल्प विचलन, कूर्च स्पर्श के वोल्टता पात (Brush Contact Drop) में संविलीन (Absorb) हो जाते है।

प्रदीपन (Excitation)

अ० धा० शक्ति प्रदाय करने वाले अधिकांश तन्त्र (Systems) इस आधार पर कार्य करते हैं कि शक्ति लाइनों (Power Lines) के बीच स्थिर वोल्टता संधारित रहेगी। तब इन लाइनों के बीच सज्जा का युजन करके, अपेक्षित शक्ति को प्राप्त करना संभव है। क्योंकि, अधिकतर स्थिर वोल्टता वाले तंत्र ही काम में लाये जाते हैं, इसलिये स्थिर वोल्टता प्रदाय करने वाले जनित्रों का विमर्शन ही सबसे पहले किया जायेगा।

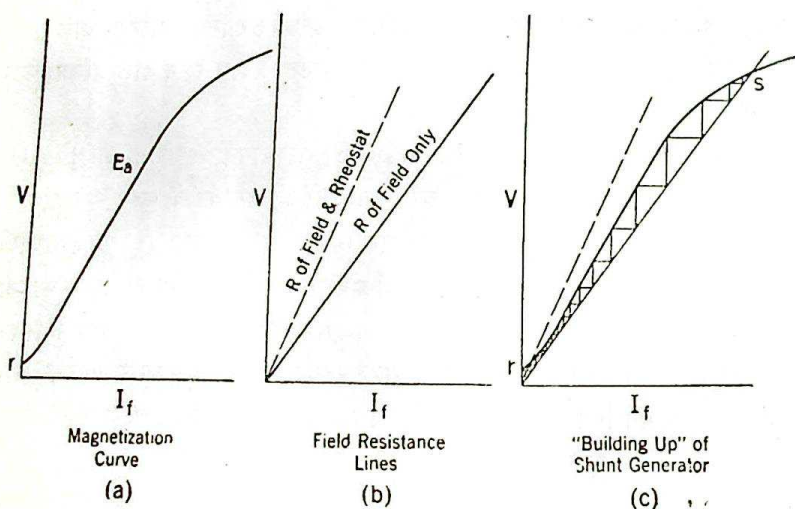
यदि जनित्र का प्रदीपन (Excitation) पार्श्वयिन क्षेत्र (Shunt Field) द्वारा किया जाय, (जैसा कि अ० धा० मशीनों की बनावट के पहले परिच्छेद में वर्णित किया गया है); तब यह लगभग स्थिर वोल्टता देगा। यह इसलिये सत्य है, क्योंकि क्षेत्र कुंडल स्थिर वोल्टता अवसानों से युजित होते हैं, जिसके कारण चुम्बक गामक बल और क्षेत्र स्यंद अपने मान पर स्थिर रहते हैं। धात्र के स्थिर वेग से परिभ्रमण करने के कारण, संवाहक, स्यंद को स्थिर प्रवेग से काटेंगे और वोल्टता लगभग स्थिर होगी, तथा भार प्रदाय करने वाली धात्र धारा के परिमाण पर निर्भर नहीं करेगी।

चुम्बकन वक्र (Magnetization Curve)

चूंकि चुम्बकीय परिपथ अधिकांशतः लोहे से बना होता है, इसलिये जनित वोल्टता और क्षेत्र धारा के सम्बन्ध को देशित करने वाला वक्र लोहे के चुम्बकन वक्र के समान होता है। ऐसा वक्र चित्र 5-16(*a*) में दिखाया गया है जिसमें क्षेत्र धारा भुजांक (Abscissa) पर और अवसान वोल्टता (Terminal Voltage) कोट्यंक पर अंकित किया गया है। इसे जनित्र का **चुम्बकन वक्र** कहते है। यह अवलोकित होता है, कि यह वक्र शून्य से आरम्भ नहीं होता, क्योंकि लोहे में पूर्व प्रयोग के कारण अवशेष चुम्बकत्व (Residual Magnetism) रह जाता है।

पार्श्वयिन जनित्र का स्वयं प्रदीपन
(Self-Excitation of a Shunt Generator)

चूंकि एक पार्श्वयिन जनित्र, अपनी क्षेत्र धारा उत्पन्न करने के लिये स्वयं अपनी वोल्टता पर निर्भर करता है; साथ ही क्षेत्र धारा के बिना पर्याप्त वोल्टता नहीं उत्पन्न हो सकती, इसलिये जिस विधि से क्षेत्र धारा तथा धात्र वोल्टता

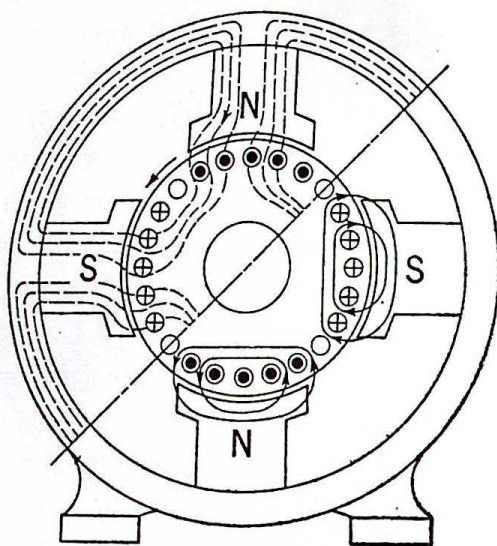
साथ ही साथ बढ़ते हैं उसका अध्ययन रोचक है। चित्र 5-16(*a*) किसी दी हुई धात्र वोल्टता के परिणामतः उत्पन्न क्षेत्र धारा के मान को देशित करता है। इसे बहुधा **क्षेत्र रोध रेखा** (Field Resistance Line) भी कहते हैं। ठोस रेखा, जो प्राथमिक महत्व की है, इस सम्बन्ध को उस अवस्था में निरूपित करती है, जबकि क्षेत्र परिपथ में बाहरी रोध नहीं लगा हुआ हो। इस वक्र को उन्हीं निर्देशांक (Co-ordinates) वाले चुम्बकन वक्र से संयोजित करने पर चित्र 5-16 का मूल आधार प्राप्त होता है। जब आद्यचालक, जनित्र को नियत वेग पर चलाता

चित्र 5-16 (*a*) **चुम्बकन वक्र** (*b*) **क्षेत्र रोध रेखा** (*c*) **पार्श्वायन जनित्र का अपनिर्माण**

है तब अवशेष चुम्बकन के कारण थोड़ी सी वोल्टता प्राप्त होती है जो *r* से दिखाई गई है। यह वोल्टता क्षेत्र में थोड़ी सी धारा प्रवाहित करती है जो वोल्टता में कुछ वृद्धि करती है, पुनश्च, क्षेत्र में धारा और अधिक बढ़ जाती है। इसको चित्र में क्रमों के द्वारा देशित किया गया है। यह विधायन (Process) जिसे **अपनिर्माण** (Building Up) भी कहते हैं, तब तक चलता रहता है, जब तक कि दोनों वक्र एक दूसरे को *s* पर काटते हैं। यदि क्षेत्र परिपथ में बाहरी रोध काफी अधिक हो, तो दी हुई वोल्टता के परिणामतः उत्पन्न क्षेत्र धारा में काफी कमी हो जायगी, जैसा चित्र 5-16(*b*) में बिन्दुकित रेखा द्वारा दिखाया गया है। इस वक्र को जब चुम्बकन वक्र पर स्थापित किया जाता है, तो यह स्पष्ट है, कि वोल्टता अपनिर्मित (Build Up) नहीं हो सकेगी। इसलिये अ० धा० जनित्र को आरम्भ करने से पहले यह देख लेना आवश्यक है, कि क्षेत्र परिपथ से बाहरी रोध हटा दिया गया है जिससे कि अपनिर्माण शीघ्रतापूर्वक हो सके।

प्रवर्तन करते हुए अधिष्ठापित (Installed) अ० धा० जनित्रों में यदि बाहरी क्षेत्र रोध शून्य तक घटा दिया जाय और यदि परिभ्रमण की सामान्य गति संधारित की जाय, तो अपनिर्माण में कोई विशेष कठिनाई नहीं उत्पन्न होगी। नये अधिष्ठापनों में अन्य कई कारणों से कठिनाई उत्पन्न होने की संभावना है। यदि परिभ्रमण की दिशा बदल दी जाय तो अवशेष वोल्टता के कारण उत्पन्न क्षेत्र धारा, अवशेष चुम्बकत्व का सहायता के स्थान पर विरोध करेगी। नौ-परिवहन (Shipping) अथवा मरम्मत के लिये विकरण (Disassembly) के पश्चात् एकत्रण करते समय, उल्टे क्षेत्र युजन के कारण भी यही प्रभाव उत्पन्न होगा। इसका उपचार या तो परिभ्रमण की गति को बदलकर, अथवा पार्श्वायित क्षेत्र के युजन को उलट कर किया जा सकता है। कभी-कभी नौ-परिवहन के समय, अत्यधिक कंपन के कारण अवशेष चुम्बकत्व इतना कम हो जाता है कि फिर यह प्रभावी नहीं रह जाता। क्षेत्र धारा (Field Current) की उत्पत्ति में सहायता करने के लिये क्षेत्र परिपथ में एक संग्रह समूहा (Storage Battery) लगाकर, इसका उपचार किया जा सकता है। समूहा, अवशेष स्यंद की भांति ही कार्य करेगी और यदि इसके युजन की ध्रुविता गलत है तो इसमें भी उसी प्रकार की कठिनाइयों की सम्भावना है। जब एक बार वोल्टता का अपनिर्माण हो जाय, तो समूहा अलग की जा सकती है और तब मशीन स्वयं ही अपना अपनिर्माण कर लेगी।

धात्र प्रतिक्रिया (Armature Reaction)

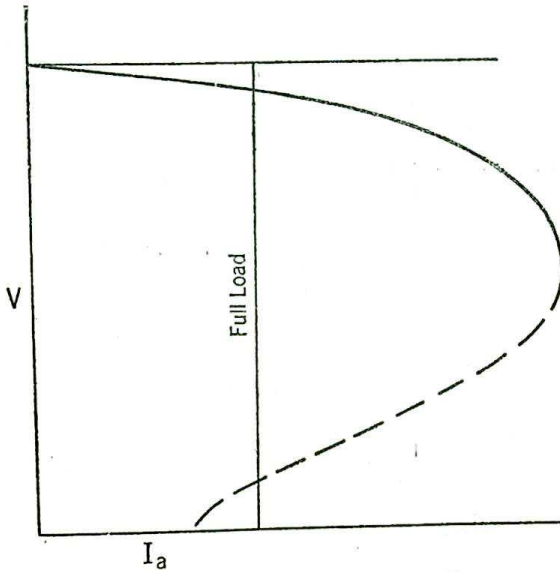
यद्यपि पार्श्वायित जनित्र में, स्यंद, प्रदत्त भार की उपेक्षा कर लगभग एकसम मान की ही रहेगी, तथापि धात्र में वहने वाली भार धारायें भी एक चुम्बक गामक बल उत्पन्न करती हैं, जो कुछ सीमा तक जनित वोल्टता को प्रभावित करते हैं। इस धात्र प्रतिक्रिया के चुम्बकीय प्रभाव चित्र 5-17 में दिखाये गए हैं। मशीन के निचले दाहिने भाग में केवल धात्र संवाहकों के चुम्बकीय प्रभाव ही दिखाये गये हैं। यहाँ यह देखा जाता है कि इस प्रभाव के कारण स्यंद, ध्रुव में एक अणि (Tip) से निकलकर दूसरी अणि में से अन्दर की ओर को प्रवाहित होती है। जब यह स्यंद, पार्श्वायित क्षेत्र द्वारा उत्पन्न मुख्य ध्रुवों की स्यंद से संयोजित की जाती है, इसका प्रभाव पिछले ध्रुव अणि, (Trailing Pole Tip) में स्यंद को सकेन्द्रित करना और अगले ध्रुव अणि (Leading Pole Tip) में कम कर देना होता है। इस प्रकार स्यंद एकसम विभाजित नहीं रहती। यह मशीन के ऊपरी बायें भाग में दिखाया गया है। इस प्रभाव से कुल स्यंद कुछ घट जाती है क्योंकि पिछली ध्रुव अणि में प्राप्त होनेवाली अतिरिक्त स्यंद उतनी नहीं होती, जितनी अगली ध्रुव अणि में कम हो जाती है। पिछली ध्रुव अणि में स्यंद सकेन्द्रित हो जाने से, उस स्थान के धात्र दाँतों (Armature Teeth) के अनुवेधन (Saturation) के कारण यह कमी होती है।

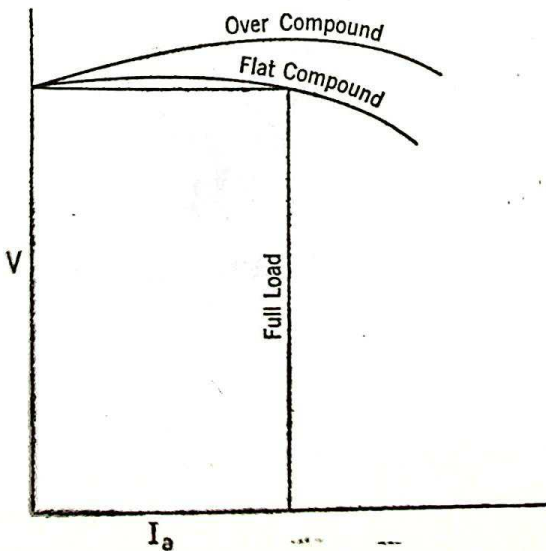
बड़ी मशीनों में, जिनमें भार का अचानक परिवर्तन हो जाता है, कुछ विशिष्ठ कुंडलों तथा व्यत्ययक दण्डों के सिरों पर वोल्टता का यह सकेन्द्रण, व्यत्ययक के अभ्रक विसंवाहन के पार चाप (Arc) उत्पन्न कर सकता है। एक ऐसे छोटे चाप का प्रगामी (Progressive) होना संभव है जिसके कारण कूर्च तक लघुपरिपथन हो सकता है और मशीन को क्षति पहुँच सकती है। इसलिये बड़ी मशीनों में, सामान्यतः, ध्रुव मुखों में स्थायी संवाहक रख दिये जाते हैं। ये संवाहक, भार से माला में युजित होते हैं। इनका चुम्बक गामक बल, धात्र के चु० गा०

चित्र 5-17 : **धात्र प्रतिक्रिया के कारण क्षेत्र का व्याकर्षण**

ब० का निष्फलन कर देता है। ऐसे वर्तन, **समकरण वर्तन** (Compensating Winding) अथवा **समकरण क्षेत्र** कहलाते हैं। चूंकि ये वर्तन मूल्यवान होते हैं, इसलिये इनको सामान्यतः उन मशीनों में नहीं लगाया जाता, जिनमें परिशुद्ध प्रवर्तन लक्षणों की आवश्यकता नहीं होती।

वोल्टता लक्षण (Voltage Characteristics)

पार्श्वायन जनित्र की वोल्टता, भार के बढ़ जाने पर कुछ कम हो जाती है। यह कमी निम्नलिखित संचयी (Cumulative) प्रभावों के कारण होती है : प्रथमतः धात्र तथा कूर्चों में एक रोधपात (Resistance Drop) होता है जो भार के साथ बढ़ता जाता है, और जनित वोल्टता में से घटता है। दूसरे, धात्र प्रतिक्रिया, क्षेत्र को व्याकर्षित (Distort) कर देती है, जिससे काटे जानी वाली कुल स्यंद कम हो जाती है। इन दोनों कारणों से उत्पन्न वोल्टता की कमी, पार्श्वायन क्षेत्र के आर-पार वोल्टता को कम कर देती है। इससे प्रदीपन (Excitation) कम हो जाता है, और यह अवसान वोल्टता को और भी कम कर देता है। जब तक भार (Load) क्षमित मान (Rated Value) से अधिक नहीं होता, तब तक ये प्रभाव भी अत्यधिक नहीं होते। परन्तु अधिक भार पर, ये वोल्टता में द्रुत गति से कमी उत्पन्न करते हैं। यह चित्र 5-19 में दिखाया गया है, जिसमें एक पार्श्वायन

जनित्र का सामान्य भार लक्षण (Load Characteristic) अंकित किया गया है। ऐसा गिरता हुआ लक्षण (Dropping Characteristic) पूर्णतया संतोषजनक

चित्र 5-18 : पार्श्वायन जनित्र का भार वोल्टता लक्षण

नहीं होता। जब लाइन पात (Line Drop) अधिकतम होता है, तब यह जनित्र, अवसानों पर कम वोल्टता देता है। इस प्रकार भार पर एकसम वोल्टता होने के

चित्र 5-19 : मिश्र जनित्र का भार वोल्टता लक्षण

आदर्श को प्राप्त नहीं किया जा सकता। वोल्टता के इस पात की पूर्ति करने के लिये, मुख्य ध्रुवों के ऊपर माला वर्तन के कुछ वर्त भी लपेट दिये जाते हैं, जिससे

भार के बढ़ने पर कुछ अतिरिक्त चुम्बक गामक बल प्राप्त हो सके। इस प्रकार के वर्तन वाला जनित्र, **मिश्र जनित** (Compound Generator) कहलाता है। ये वर्तन, चित्र 5-6 में दिखाये गये हैं, तथा बहुत सी मशीनों में प्रयोग किये जाते है। जब केवल उतने ही माला वर्त (Series Turns) प्रयोग किये जाते हैं, जिनसे पूर्ण भार वोल्टता (Full Load Voltage) शून्य भार वोल्टता (No Load Voltage) के बराबर हो जाय; जैसा चित्र 5-19 में दिखाया गया है, तो मशीन को **समतल मिश्रित** (Flat Compounded) कहा जाता है। जब काफी मात्रा में माला क्षेत्र का प्रयोग, पूर्ण भार पर वोल्टता को शून्य भार की वोल्टता से ऊँचा करने के लिये किया जाता है, जनित्र **उपमिश्रित** (Over-Compounded) कहा जाता है।

वोल्टता यामक (**Voltage Regulators**)

मिश्र जनित्र वोल्टता को पूर्णतया स्थिर नहीं रखते, परन्तु विचरण सामान्यत: अधिक नहीं होता। अधिक स्थिर वोल्टता प्राप्त करने के हेतु, पार्श्वायन क्षेत्र में धारा को व्यवस्थापित करने के लिये, यामक (Regulators) प्रयोग किये जाते हैं। अधिकांश आधुनिक यामक क्षेत्र विपरोधक (Field Rheostats) होते हैं, जो किसी प्रकार की परिनालिका (Solenoid), अथवा कमानी (Spring) के विरुद्ध प्रवर्तन करने वाली विभ्रमिया मोटर के द्वारा घटाये बढ़ाये जाते है। वह बहुत ही हृष (Sensitive) होते हैं और कमानी के तनाव में, अथवा मोटर की विभ्रमिया में तनिक सा अन्तर भी क्षेत्र रोध में काफी परिवर्तन कर देता है। मोटर की विभ्रमिया (अथवा परनालिका का कर्षण), अवसान वोल्टता के अनुपात में होती है। इसलिये इस कर्षण तथा कमानी के तनाव में संतुलन प्राप्त किया जा सकता है। इस प्रकार माला वर्तन का प्रयोग किये बिना ही, स्थिर वोल्टता की जा सकती है।

भार परिसीमाएँ और क्षमता (**Load Limitations and Rating**)

अ० धा० जनित्रों की बहुत सी परिसीमाओं का उल्लेख किया जा चुका है। इनमें से दो, धात्र प्रतिक्रिया (Armature Reaction) और व्यत्ययन के प्रभाव हैं। प्ररचना में, व्यत्ययन तथा धात्र प्रतिक्रिया का सावधानी से ध्यान रखते हुए, मशीन को थोड़े समय के लिये अतिभार (Overload) वहन करने के योग्य बनाया जा सकता है। अतिभार को सतत (Continue) रखने से मशीन के एक या अधिक भागों में अतितापन (Overheating) हो जाता है जिससे हानि पहुँचाती है। इसलिये सबसे क्रांतिक (Critical) परिसीमा ऊर्जा हानि (Energy Loss) है, जो ऊष्मा उत्पन्न करती है। इसके अन्तर्गत वह हानियाँ भी हैं जो धात्र तथा क्षेत्र में, परिपथ रोध के विरुद्ध धारा को बाध्य करती

हैं। ये हानियाँ, सामान्यतः, I^2R हानियाँ कहलाती है; क्योंकि ये धारा के वर्ग और रोध के गुणन के बराबर होती हैं। ऊर्जा हानियों के अन्तर्गत, व्यत्ययक पर कूर्च हानियाँ (Brush Losses), धात्र लौह में लौह हानियाँ (Iron Losses) और व्यत्ययक तथा भारुओं पर घर्षण हानियाँ (Friction Losses) भी हैं। मशीन की एक क्षमता नियत होती है, जो उस भार को देशित करती है, जिसे मशीन अति ऊष्म हुए बिना लगातार वहन कर सके। साधारणतया इसको आसपास की वायु के तापमान से 50°C अधिक तापमान को निरूपित करती हुई माना जाता है। यदि विशेष विसंवाहनों का प्रयोग किया जाय, तो इससे उच्च तापमान वृद्धि भी होने दी जा सकती है।

यह क्षमता (Rating), आसपास की वायु का तापमान लगभग 20°C अथवा 70°F होने पर आधारित है। यदि सज्जा को अधिक गर्म वातावरण में रक्खा जाय, तो वह भार जिसे मशीन संतोषजनक रूप से वहन कर सकती है, कुछ घट जायगा। इसी प्रकार यदि सज्जा को ठंढी जलवायु में प्रयोग किया जाय, तो बिना मशीन को क्षति की संभावना के, भार कुछ बढ़ाया जा सकता है।

विशेष जनित्र (Special Generators)

अ० धा० शक्ति के सामान्य प्रदाय के लिये उपयोग किये जाने वाले जनित्र, अधिकतर पार्श्वायिन और मिश्र प्ररूपों के ही होते हैं जिनका पर्यालोचन ऊपर किया गया है। बहुत सी दशाओं में, इन मशीनों की अवसान वोल्टता, स्वयंक्रिय वोल्टता यामक (Automatic Voltage Regulators) के द्वारा नियंत्रित की जाती है।

बहुत सी शक्ति अपेक्षाओं (Power Requirements) के लिये विशिष्ट मशीन लक्षणों की आवश्यकता होती है; तथा इन प्रयुक्तियों (Applications) को उपयुक्त प्रदीपन प्रदाय करने के लिये विशेष प्ररचनायें की जाती हैं। विशेष लक्षण की आवश्यकता रखने वाला एक शक्ति भार, **चाप संधान** (Arc Welding) है। इस भार में धारा का मान लगभग एकसम रहना चाहिये, यद्यपि वोल्टता में काफी विचरण संभव है। इस आवश्यकता की पूर्ति के लिये, बहुत से भिन्न प्रकारों के अ० धा० जनित्रों की प्ररचना हुई है।

एक जनित्र में (जो वेग का मापन करने के लिये काफी महत्व का है), क्षेत्र के लिये स्थायी चुम्बक का उपयोग होता है। ऐसी मशीन में, शून्य भार वोल्टता (No Load Voltage) भ्रमिता के वेग का सीधा मापन है। इसलिये इसको टैकोमीटर (Tachometer) की भाँति उपयोग किया जा सकता है।

छठा अध्याय

अव्यवहित धारा मोटर

(DIRECT-CURRENT MOTORS)

जनित्र से मोटर की ओर (From Generator to Motor)

बनावट में अ० धा० मोटर, अ० धा० जनित्रों के समान ही होती हैं; और साधारणतया, वही मशीन, मोटर हो अथवा जनित्र, एक दूसरे के स्थान पर प्रयोग की जा सकती है। इस कारण, पांचवें अध्याय का सारा विषय, अ० धा० मोटरों के पर्यालोचन में प्रयुक्त किया जा सकता है। प्रमुख अन्तर, धात्र संवाहकों में प्रवाहित धारा की दिशा का है। जनित्र में धात्र को आद्य चालक द्वारा चलाया जाता है और धारा प्रवाह, वोल्टता जनन की दिशा में होता है। मोटर में धारा, वोल्टता जनन के विरुद्ध दिशा में प्रवाहित होती है; और इस प्रकार संवाहकों के ऊपर बल, गति को विमन्दन करने की अपेक्षा, उसको सतत रखने वाली दिशा में होता है।

अ० धा० जनित्र एवं मोटरों के प्रवर्तन का अन्तर अधिक प्रभावी रूप में दिखाने के लिये, एक पार्श्वायन मशीन के, जनित्र से मोटर क्रिया में विवर्तन (Shift) का विश्लेषण किया जायगा। कल्पना कीजिये कि एक अ० धा० जनित्र 2000 परिक्रमण प्रति मिनट पर चलाया जा रहा है और अपनी पूर्ण भार क्षमता (Rating) पर 100 अम्प० धारा, एक 250 वोल्ट वाले अ० धा० तंत्र (D. C. System) को प्रदाय कर रहा है। अन्य बहुत से जनित्र भी उस तंत्र को प्रदाय कर रहे हैं। धात्ररोध पात (Armature Resistance Drop) 10 वोल्ट मान लिया गया है, इसलिये जनित्र में जनित वोल्टता 250+10=260 वोल्ट अवश्य होनी चाहिये। मशीन की शक्ति प्रदा (Power Output) 25 कि० वा० है और इसलिये धात्र के ऊपर विभ्रमिषा इतनी होगी जो कि इस शक्ति को 2000 प० प्र० मि० पर उत्पन्न कर सके। [घर्षण (Friction), वायुरोध (Windage) तथा दूसरी जनित्र हानियों को अभिभूत करने के लिये आद्य चालक द्वारा एक अतिरिक्त विभ्रमिषा की भी आवश्यकता होगी]। यह भी कल्पना कर ली जाय कि दूसरे अ० धा० जनित्र भी तंत्र से सम्बन्धित हैं, जिससे विचाराधीन जनित्र में कुछ भी करने से, अ० धा० क्रम की वोल्टता पर कोई अन्तर नहीं होता और वह 250 वोल्ट ही रहता है।

यदि आद्य चालक एक पेट्रोल एंजिन है, तो मान लीजिये कि उसका प्ररोध व्यवस्थापन (Throttle Setting) नीचे कर दिया जाता है। इसका अर्थ होगा, ईंधन (Fuel) का कम प्रदाय और इसलिये कम एंजिन विभ्रमिषा।

एंजिन विभ्रमिषा अब जनित्र की विमन्दन विभ्रमिषा (Retarding Torque) के बराबर नहीं होगी ; और वह धीरे-धीरे मन्द पड़ जायगा। यह जनित वोल्टता को 260 वो० से 255 वो० तक घटा दे सकता है। धात्र धारा 50 अम्प० तक घट जायगी, क्योंकि अवसान वोल्टता फिर भी 250 ही रहनी चाहिये और धात्र रोध पात के लिये अब केवल 5 वो० ही उपलब्ध है। इसके कारण, जनित्र की विमन्दन-विभ्रमिषा अपने पूर्व मान से आधी हो जाती है। यदि आद्य चालक इस विभ्रमिषा को प्रदाय कर सकता है, तो जनित्र का इस बिन्दु पर स्थायीकरण (Stabilization) हो जायगा। यदि आद्यचालक विभ्रमिषा इस 50 प्रतिशत मान से अधिक है तो जनित्र का वेग और उसकी वोल्टता, तथा धारा भी बढ़ जायगी, उस समय तक, जब तक कि समतुलन (Equilibrium) स्थापित नहीं हो जाता।

अब कल्पना कीजिये कि आद्यचालक को ईंधन प्रदाय (Fuel Supply) बिल्कुल बन्द कर दिया जाता है। इससे आद्यचालक विभ्रमिषा कम हो जायेगी और जनित्र मन्द पड़ जायेगा ; जब तक कि जनित वोल्टता केवल 250 वो० ही न रह जाय। इस प्रकार न तो कोई धारा ही प्रवाहित होगी और न जनित्र में विमन्दन विभ्रमिषा ही रहेगी। परन्तु जनित्र एवं आद्य-चालक दोनों में ही, घर्षण, वायुरोध (Windage) तथा दूसरी हानियों के कारण, वेग और भी कम हो जायगा। वेग के घटने से जनित्र की वोल्टता भी कम हो जाती है। मान लीजिये वह 248 वो० हो जाता है। यह ज्ञात है कि 10 वो० का धात्र-पात (Armature Drop), 100 अम्प० की धात्र धारा उत्पन्न करता है। इसलिये लाइन तथा धात्र-जनित वोल्टता में 2 वो० का अन्तर 20 अम्प० धारा उत्पन्न करेगा ; परन्तु इस बार धारा प्रवाह की दिशा, जनित्र के रूप में काम करते समय की धारा दिशा के विरुद्ध होगी। धारा दिशा के उत्क्रमित हो जाने पर विभ्रमिषा की दिशा भी उत्क्रमित हो जाती है। अब परिभ्रमण को बनाये रखने के लिये, अ० धा० मशीन, पूर्ण भार पर जनित्र विभ्रमिषा की $\frac{1}{5}$ विभ्रमिषा ही प्रदाय करती है। मशीन, अब, मोटर के रूप में प्रवर्तन करती है और केवल अपने आप को ही नहीं, वरन् आद्य-चालक को भी चलाती है। इस बीच में मोटर का वेग 2000 प० प्र० मि० से घटकर

$\frac{248}{260} \times 2000 = 1910$ प० प्र० मि० हो जाता है।

यदि अब अ० धा० मशीन को, आद्य-चालक के स्थान पर, एक केन्द्रापग पम्प (Centrifugal Pump) से युजित कर दिया जाय तो यह चलती ही रहेगी। यदि पम्प पर भार बढ़ा दिया जाय, तो वेग में कुछ कमी आ जायगी ; जब तक कि मोटर में जनित वोल्टता इतनी कम नहीं हो जाती कि उससे एक अतिरिक्त धात्र धारा प्रवाहित हो सके और इस प्रकार आवश्यक चालक विभ्रमिषा (Driving Torque) उत्पन्न कर सके। इस प्रकार की मोटर, लगभग

स्थिर वेग संधारण करने के लिये, लाइन से ली जाने वाली शक्ति का नियंत्रण प्रायः एकसम कर लेती है।

मोटर जनित वोल्टता (Motor Generated Voltage)

मोटर में जनित वोल्टता की संगणना भी उसी प्रकार की जाती है, जैसे जनित्र में। चूँकि यह मोटर धारा के प्रवाह का विरोध करती है, इसलिये इसे कभी-कभी मोटर का **विरोधी विद्युत-गामक-बल** (Counter Electromotive Force) भी कहते हैं। यह मुख्य ध्रुवों के स्यंद तथा वेग के अनुपात में होती है। किसी भी मशीन में, माला युजित प्रभावी संवाहकों की संख्या, तथा संवाहकों की लम्बाई स्थिर होती है। इसलिये,

$$E_m = K\phi S$$

जहाँ E_m मोटर का विरोधी विद्युत् गामक बल, K मशीन के लिये एक स्थिरांक (Constant), और ϕ मुख्य क्षेत्र स्यंद तथा S प० प्र० मि० में वेग है।

मोटर जनित वोल्टता और धात्र रोधपात का योग, आरोपित अर्थात् परिपथ वोल्टता के बराबर होता है। इस प्रकार,

$$E_m + I_a R_a = V$$

जहाँ, E_m मोटर का विरोधी विद्युत् गामक बल ; I_a, धात्र धारा, R_a, धात्र रोध तथा R_a, आरोपित अथवा परिपथ वोल्टता है। यह सम्बन्ध बहुत-सी मोटर समस्याओं का विश्लेषण करने में बहुत सहायक होता है। प्रारम्भ करने की दशा को छोड़ कर, धात्र परिपथ में रोध कम ही होता है, इसलिये मोटर जनित वोल्टता, आरोपित वोल्टता के लगभग बराबर ही होनी चाहिये।

अभ्यास 6-1 : एक 10 अश्व शक्ति, 230 वो०, 1200 प० प्र० मि० वाले अ० धा० पार्श्वायिन मोटर की पूर्ण भार धारा 38 अम्प० है। पार्श्वायिन क्षेत्र 1·5 अम्प० लेता है। यदि धात्र रोध 0·4 ओम हो तो पूर्ण भार मोटर-जनित वोल्टता क्या होगी ?

अभ्यास 6-2 : एक 50 अश्व शक्ति 230 वो०, 1200 प० प्र० मि० वाले अ० धा० पार्श्वायिन मोटर का धात्र रोध 0·09 ओम है। पूर्ण भार धारा 180 अम्प० है। यदि धात्र प्रतिक्रिया (Armature Reaction) के प्रभाव की उपेक्षा कर दी जाय, तो शून्य भार से पूर्ण भार तक कितने वेग यामन (Speed Regulation) की आशा की जा सकती है और क्यों ?

मोटर विभ्रमिषा (Motor Torque) : मोटर में उत्पन्न विभ्रमिषा की संगणना, स्यंद घनत्व, सक्रिय संवाहकों की संख्या तथा लम्बाई, और धारा प्रवाह से की जा सकती है, जैसे कि पृष्ठ 87 पर दिये गए अभ्यास में जनित्र के लिये की गई थी। किसी भी मशीन के लिये, संवाहकों की लम्बाई तथा संख्या स्थिर

होती है। इस प्रकार मोटर विभ्रमिषा, क्षेत्र स्यंद तथा धात्र धारा के गुणन के अनुपात में होती है। इसलिये,

$$T = K'\phi I_a$$

जहाँ T मोटर विभ्रमिषा, ϕ मुख्य क्षेत्र स्यंद, I_a धात्र धारा और K' एक स्थिरांक है जो सक्रिय संवाहकों की लम्बाई तथा संख्या के ऊपर निर्भर करता है।

यह अवलोकित किया जाता है, कि पार्श्वायिन मोटर में जिसमें क्षेत्र स्यंद एकसम रहती है, मोटर विभ्रमिषा, धात्र धारा की समानुपाती होती है।

मोटर व्यत्ययन (Motor Commutation)

मोटर में भी व्यत्ययन समस्या वैसी ही होती है, जैसी कि जनित्र में। व्यक्तिगत कुंडलों में धारा उतने ही समय में, जिसमें कि कुंडल कूर्च द्वारा लघु-परिपथित होते हैं, पूर्णतया उत्क्रमित (Reverse) हो जानी चाहिये। जनित्र की भांति मोटर में भी यह, सामान्यतः, व्यत्ययक ध्रुवों (Commutating Poles) के प्रयोग द्वारा ही निष्पादित होता है। चूँकि धात्र में धारा उत्क्रमित हो जाती है, इसलिये व्यत्ययन वोल्टता की दिशा भी उत्क्रमित हो जानी चाहिये। व्यत्ययक ध्रुवों पर क्षेत्र वर्तन (Field Winding) धात्र से माला में युजित होने के कारण, यह अपने आप ही निष्पादित हो जाता है। इसलिये जनित्र से मोटर क्रिया में परिवर्तन के लिये व्यत्ययक ध्रुव वर्तन के युजनों में परिवर्तन की आवश्यकता नहीं होती।

जनित्रों की अपेक्षा, मोटर में भार परिवर्तन बहुधा अधिक अकस्मात होता है और धात्र प्रतिक्रिया द्वारा उत्पन्न उच्च कुंडल वोल्टताओं की समस्या, (जो पांचवे अध्याय में पर्यालोचित की गई है) अधिक गंभीर हो जाती है। वेल्लन मिल (BloomingMill) में प्रयुक्त होने वाली मोटरों में, तथा दूसरी लगातार उत्क्रमित होने वाली मोटरों में, समकरण वर्तन (Compensating Winding अथवा ध्रुव-मुख वर्तनों (Pole-face Windings) का प्रयोग सामान्य है।

पार्श्वायिन मोटरों के वेग-विभ्रमिषा लक्षण (Speed-Torque Characteristics for Shunt Motors) : भार के साथ वेग का विचरण, मोटर का एक मुख्य प्रवर्तन लक्षण है। पार्श्वायिन मोटर में, क्षेत्र परिपथ लाइन के समानान्तर में युजित होता है और जब तक लाइन वोल्टता एकसम रहती है, तब तक क्षेत्र प्रदीपन (Field Excitation) भी एकसम रहता है।

यदि यह कल्पना की जाय कि क्षेत्र स्यंद भी एकसम रहती है, तो विभ्रमिषा धात्र धारा की समानुपाती होगी। भार में परिवर्तन के साथ-साथ धात्रधारा में भी परिवर्तन होता है; और चूँकि

$$E_m = V - I_a R_a$$

इसलिये, धात्ररोध पात (Armature Resistance Drop) में परिवर्तन का समकरण करने के लिये, मोटर जनित वोल्टता में भी कुछ परिवर्तन होना आवश्यक है। यह धात्ररोध पात, बड़ी मोटरों में लगभग 5 प्रतिशत से छोटी मोटरों में 10 प्रतिशत तक विचरण करता है। इसलिये, मोटर जनित वोल्टता में भी 5 से 10% तक विचरण की आवश्यकता होगी।

अभ्यास 6-3 : एक 10 अ० श०, 230 वो०, 1200 प० प्र० मि० वाले अ० धा० पार्श्वायिन मोटर की, जिसका धात्ररोध 0·4 ओम है, पूर्णभार धारा 38 अम्प० है। यदि धात्र प्रतिक्रिया के प्रभाव की उपेक्षा कर दी जाय, तो मोटर का शून्यभार (No Load) प्रवर्तन वेग निकालिये। पूर्ण भार वेग 1200 प० प्र० मि० है।

अभ्यास 6-4 : 96 अम्प० की पूर्णभार धात्र धारा लेते हुए एक 230 वोल्ट की पार्श्वायिन मोटर का वेग 1750 प० प्र० मि० है। धात्ररोध 0·16 है, और कूर्चपात (Brush Drop), 2v पर स्थिर रहता है। धात्र परिपथ में रोधक जोड़कर, वेग को कम करना अपेक्षित है। (*a*) पूर्ण भार विभ्रमिषा पर, 800 प० प्र० मि० के वेग के लिये कितना रोध जोड़ने की आवश्यकता है? (*b*) पूर्ण भार विभ्रमिषा की आधी विभ्रमिषा पर 1200 प० प्र० मि० के वेग के लिये कितना रोध चाहिये? (*c*) इन दोनों दशाओं में दक्षता कितनी होगी?

पहले दिखाया जा चुका है कि जनित वोल्टता :

$$E_m = K\phi S$$

क्योंकि, क्षेत्र स्यंद का एकसम होना मान लिया गया था, इसलिये मोटर वोल्टता वेग के समानुपाती होती है। इस प्रकार, पूर्ण भार लगा दिये जाने पर, पार्श्वायिन मोटर के वेग में, केवल 5% से 10% तक कमी की आशा की जा सकती है। उपर्युक्त समीकारों के आधार पर, इस वेग विचरण की संगणना की जा सकती है; जब कि आवश्यक लाइन वोल्टता, धात्र रोध तथा धात्र धारा दिये हुए हों।

धात्र प्रतिक्रिया के मुख्य क्षेत्र स्यंद पर प्रभावों के कारण, पार्श्वायिन मोटरों का वास्तविक निष्पादन (Performance) इतना सरल नहीं होता। जैसा जनित्रों वाले अध्याय में पर्यालोचित किया गया है, धात्र प्रतिक्रिया के प्रभाव से, स्यंद एक ध्रुव अणि पर सकेन्द्रित हो जाती है। मोटर में यह सकेन्द्रण, पिछली ध्रुव अणि के स्थान पर अगली में होता है। तथापि दोनों दशाओं में ही अनुवेधन (Saturation) के प्रभाव से क्षेत्र स्यंद कम हो जाती है।

धात्र प्रतिक्रिया के क्षेत्र स्यंद को कम कर देने से दो प्रभाव प्राप्त होते हैं। पहले स्थान पर, क्षेत्र स्यंद के कम मान के कारण उत्पन्न विभ्रमिषा की कमी का अभिभवन करने के लिये, धात्र धारा को कुछ बढ़ाना आवश्यक है। धात्र धारा को सीमित करने के हेतु, आवश्यक जनित वोल्टता प्राप्त करने के लिये

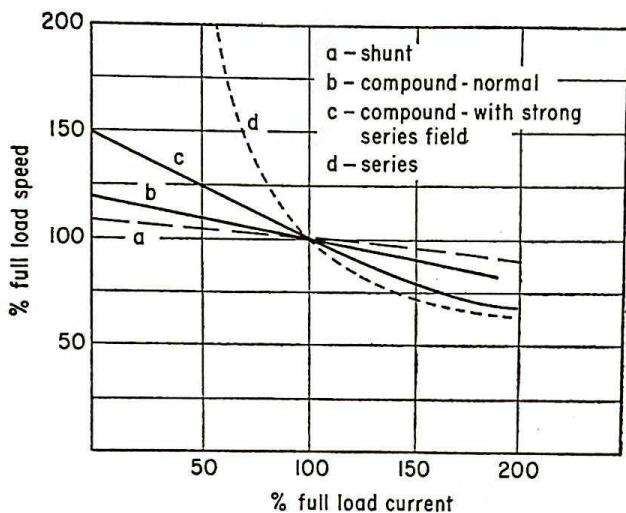
वेग में तत्सम्बन्धी वृद्धि की आवश्यकता है, जिससे क्षेत्र स्यंद के घटे हुए मान का समकरण किया जा सके। यह प्रभाव, धात्र रोध पात के वेग कम करने वाले प्रभाव का समकरण (Compensate) करने का प्रयत्न करता है।

धात्र प्रतिक्रिया के प्रभाव का परिमाण, क्षेत्र परिपथ के अनुवेधन की मात्रा पर निर्भर करता है। आधुनिक मशीनों में (जहाँ चुम्बकीय पदार्थों का अधिकतम उपयोग किया जाता है), धात्र प्रतिक्रिया का प्रभाव, धात्र रोध पात के मोटर के वेग पर प्रभाव को निष्फलित (Neutralize) ही नहीं कर देता ; वरन् मोटर ईषा (Shaft) पर भार के लगाये जाने के बाद, वस्तुतः, वेग में वृद्धि भी कर सकता है। अति भार अवस्था में, वेग में यह वृद्धि गंभीर हो सकती है। इसलिये सामान्यतः मुख्य क्षेत्र में कुछ वर्त माला वर्तन (Series Winding) के जोड़ दिये जाते हैं, जिससे क्षेत्र स्यंद एकसम रह सके अथवा और भी बढ़ सके। ऐसे वर्तन को स्थायीकरण वर्तन (Stabilizing Winding) कहते हैं।

इसलिये, संक्षेप में, पार्श्वायन मोटर का वेग, मोटर ईषा पर लगाये गये भार की उपेक्षा कर, लगभग एकसम रहता है। बहुत से प्ररूप के भारों के लिये, यह लक्षण बहुत ही वांछनीय है। जहाँ भी अ० धा० शक्ति उपलब्ध है, वहां पार्श्वायिन मोटर विस्तृत रूप से प्रयोग की जाती हैं।

मिश्र मोटरों के वेग-विभ्रमिषा लक्षण (Speed-Torque Characteristics Compound Motors) : बहुत से भारों के लिये यह अपेक्षित होता है, कि विभ्रमिषा के बढ़ने पर वेग कुछ घट जाय। ऐसा लक्षण प्राप्त करने के लिये मशीन को, शून्य भार पर चुम्बकन वक्र के निचले भाग में प्रवर्तन कराने की, तथा मुख्य क्षेत्र में कुछ माला वर्तन जोड़ देने की आवश्यकता है। इसका प्रभाव स्थायीकरण वर्तन जैसा ही होता है, परन्तु अनुवेधन प्रभाव नगण्य होने के कारण, भार के बढ़ने पर क्षेत्र स्यंद निश्चित रूप से बढ़ जाती है। भार के साथ स्यंद के बढ़ जाने के कारण, वेग में कमी होना आवश्यक है, जिससे कि मोटर का विरोधी विद्युत् गामक बल ऐसे मान तक घट जाय जो कि आवश्यक धात्र धारा को प्रवाहित होने दे।

पूर्ण भार पर वेग में कमी, माला क्षेत्र के परिमाण द्वारा नियंत्रित की जा सकती है। इस प्रकार, कितने ही प्रकार के वेग-धारा वक्र प्राप्त किये जा सकते हैं, जो चित्र 6-1 में देशित किये गये हैं। यदि पूर्ण भार वेग को, शून्य भार वेग के $\frac{2}{3}$ गुना तक घटा देना अपेक्षित हो तो इतने परिमाण का माला क्षेत्र प्रयोग किया जायगा, जिससे पूर्ण भार माला अम्प० वर्त, पार्श्वायन क्षेत्र के अम्प० वर्तों के लगभग 50 प्रतिशत हो। (अनुवेधन का प्रभाव, वेग पर धात्र रोध पात के प्रभाव का निष्फलन करने का प्रयत्न करता है, इसलिये उपर्युक्त संगणना केवल सीमित रूप में ही सत्य है)।

मिश्र मशीनों की प्ररचना की ठीक-ठीक संगणना, विभिन्न प्रभावों के एक दूसरे पर निर्भर रहने के कारण जटिल हो जाती है। तथापि, बहुधा, छोटे

चित्र 6-1 : **ग्र० धा० मोटरों के प्रारूपिक वेग धारा वक्र**

परिमाण के प्रभावों को नगण्य समझकर, लगभग उचित परिणाम प्राप्त करना संभव है।

माला मोटरों के वेग-विभ्रमिषा लक्षण (Speed-Torque Characteristics of Series Motors) : विद्युत् रेल तथा क्रेन कर्षक (Crane Hoists) जैसे कुछ भारों के लिये, एकसम वेग उतना ग्रपेक्षित नहीं होता, परन्तु कम वेग पर ग्रत्यधिक विभ्रमिषा का होना मुख्य होता है। इस प्रकार की मोटर प्रयुक्तियों में पार्श्वायिन क्षेत्र वर्तन को बिल्कुल ही छोड़कर, केवल माला क्षेत्र वर्तन का प्रयोग करना ही सामान्य है। ऐसे मोटर **माला मोटर** कहलाते हैं।

चूंकि क्षेत्र स्यंद, धात्र धारा के ग्रनुपात में होती है, (ग्रनुवेधन से कम क्षेत्र-मान पर) इसलिये विभ्रमिषा, धात्र धारा के वर्ग के ग्रनुपात में होती है।

यदि धात्र रोध पात तथा धात्र प्रतिक्रिया के प्रभावों को नगण्य समझ लिया जाय, तो यह कहा जा सकता है, कि वेग धात्र धारा के प्रतीपानुपाती होता है।

माला मोटर में, विमन्दन विभ्रमिषा के हटा देने पर वेग में ग्रसीमित वृद्धि हो जाने की संभावना के कारण इसका प्रयोग बहुत भयावह हो जाता है; जब तक कि यह किसी ऐसे भार से युजित न हो, जो स्वयं ही इसके वेग को सीमित कर सके। इसलिये साधारणतया इसका प्रयोग संकर्षण प्रयुक्तियों [जैसे स्ट्रीटकार (Streetcar) विद्युत् लोकोमोटिव ग्रौर उपनगर रेलों (Suburban Trains)] तथा क्रेन कर्षकों (Crane Hoists) तक ही सीमित है;

जहाँ पर मोटर स्थिर रूप से भार के साथ गियरित (Geared) होती है, और इस प्रकार अवशेष भार इतना काफी रह जाता है कि यह वेग को टीक प्रकार सीमित कर सकता है।

बहुत सी छोटी मोटरें, माला मोटर की भाँति वर्तित होती हैं। वे, अ० धा० अथवा प्र० धा० दोनों में ही प्रयोग की जा सकती हैं, क्योंकि धात्र तथा क्षेत्र दोनों के ही उत्क्रमित कर देने पर, विभ्रमिषा की दशा वही रहती है। वे सार्वत्रिक (Universal) मोटर कहलाती हैं और बहुधा शून्य-शोधक (Vacuum Cleaner) तथा सिलाई की मशीनों में प्रयोग की जाती हैं।

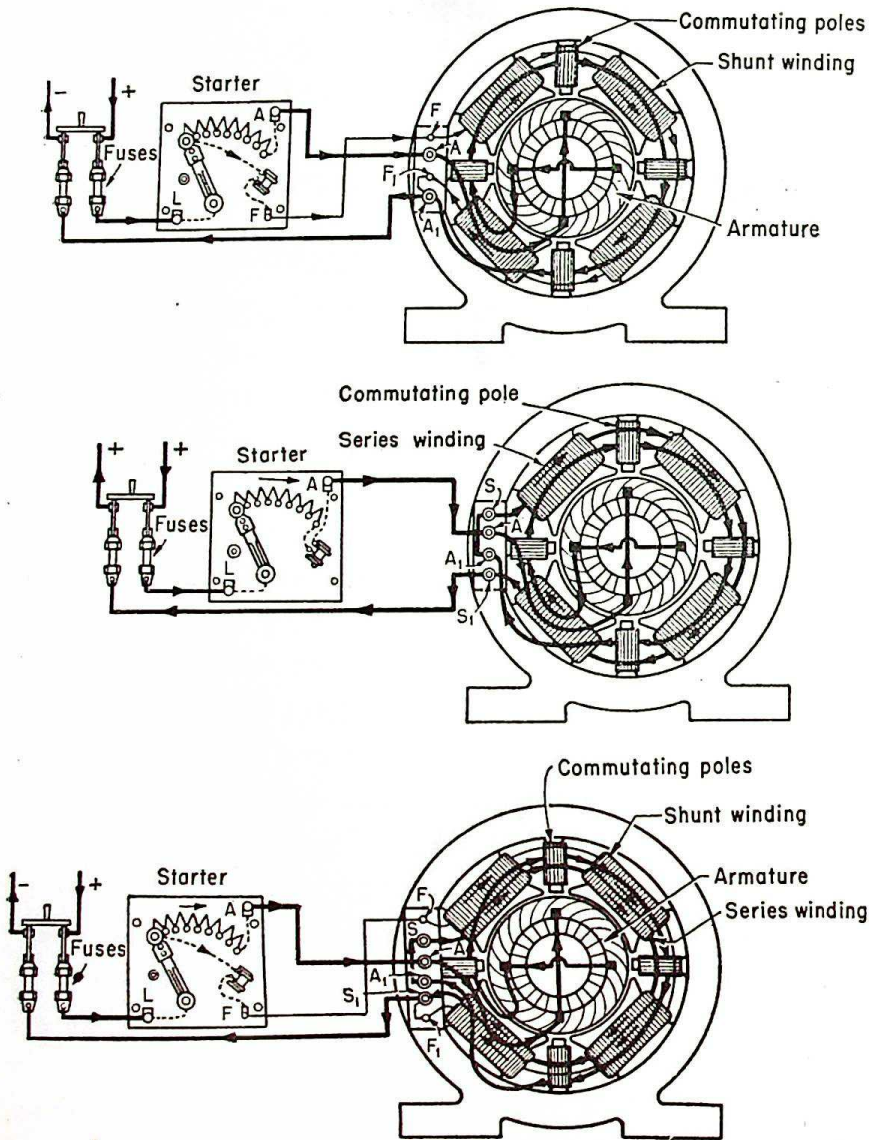
अ० धा० मोटरों का प्रारम्भण (Starting of D. C. Motors)

अ० धा० मोटरों के पिछले पर्यालोचन में यह मान लिया गया था, कि वे सामान्य वेग पर प्रवर्तन करती हैं, और भार के साथ वेग में भी विचरण हो जाता है, जिससे कि उपयुक्त विभ्रमिषा उत्पन्न करने के लिये पर्याप्त धात्र धारा प्रवाहित हो सके। साधारणतया, धात्र रोध पात आरोपित वोल्टता का अल्प भाग (5 से 10 प्रतिशत) ही होता है।

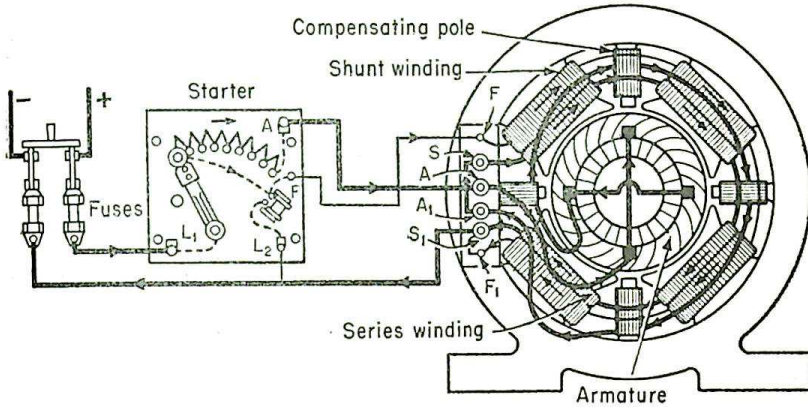
जब मोटर स्थावर (Stationary) होता है, (जैसा कि प्रारम्भण के समय) तो इसमें विरोधी विद्युत् गामक बल (Counter-Electromotive Force) नहीं होता। इसलिये सारी वोल्टता, धात्र परिपथ के IR पात में ही शोषित होनी चाहिये। अत्यधिक धात्र धारा, मोटर तथा शक्ति परिपथ दोनों के लिये ही हानिकर है, और इसलिये प्रारम्भण धारा (Starting Current) को पूर्ण भार धारा के लगभग दुगने तक ही सीमित रखना सामान्य है। यह सीमा, अधिकांशतः, व्यत्ययक तथा कूर्चों की इस परिमाण की धारा को बिना स्फुलिंग (Sparking) के वहन करने की क्षमता पर निर्भर करती है।

प्रारम्भण के समय, मोटर धारा, धात्र परिपथ में एक रोधक को निवेशित कर सीमित की जाती है। जैसे-जैसे मोटर धात्र वेग पकड़ता जाता है, वैसे-वैसे इस रोधक के प्रभागों को क्रम से लघुपरिपथित कर दिया जाता है। प्रारम्भण रोधक (Starting Resistance) का प्रयोग सभी प्ररूप के अ० धा० मोटरों में सामान्य है। यह चित्र 6-2 में देशित किया गया है। लीवर (Lever) को, धीरे-धीरे बायें से दाहिनी ओर को चलाकर, प्रारम्भण रोधक, क्रमशः, लघु परिपथित कर दिया जाता है।

चूँकि धारा केवल धात्र परिपथ के रोध से ही सीमित होती है, इसलिये प्रारम्भक की क्रिया ऐसी होती है जिससे ईषा-भार (Shaft Load) का अभिभवन कर सकने वाली विभ्रमिषा से अधिक विभ्रमिषा उत्पन्न हो सके। इसके कारण मोटर वेग पकड़ लेती है; और इतनी जनित वोल्टता विकसित करती है जो शुद्ध वोल्टता (Net Voltage) तथा धारा को घटा देती है। इस कमी

के प्राप्त हो जाने पर, रोधक का एक भाग परिपथ से काट दिया जा सकता है ; और धात्र धारा फिर से बढ़ जाती है। इस क्रम को तब तक दुहराया जाता है जब तक भ्रमिता (Rotor) परिपथ से सारा रोध नहीं हटा लिया जाता।

चित्र 6-2 : **पार्श्वायन, माला तथा मिश्र मोटरों के प्रारम्भक तथा मोटर युजन**

जब प्रारम्भक का हस्तक (Handle) (इस प्रकार क्रमशः चलाकर), दाहिने छोर पर पहुँच जाता है, तो उसे वहाँ एक विद्युत् चुम्बक द्वारा पकड़ रक्खा जाता है। यह विद्युत्-चुम्बक, रेखाचित्र 6-2 के a और c प्रभागों में, पार्श्वायन क्षेत्र से माला में युजित दिखाया गया है। रेखाचित्र के b प्रभाग में, यह धात्र

परिपथ के साथ माला में है। यदि मोटर के प्रवर्तन करते समय, शक्ति बन्द हो जाय, तो यह कुंडल प्रारम्भक वाहु को छोड़ देता है जो एक कमानी द्वारा फिर प्रारम्भण की स्थिति में फेंक दिया जाता है। इस प्रकार का प्रारम्भक

चित्र 6-3 : **चार अवसान प्रारम्भक वाला एक मिश्र मोटर**

बक्स (Starter Box) त्रि-बिन्दु अथवा त्रि-अवसान प्रारम्भक कहलाता है। बहुत से प्रारम्भकों में शून्य-वोल्टता उन्मोक (No Voltage Release) विद्युत्-चुम्बक लाइन से समानान्तर में युजित होता है, जैसा चित्र 6-3 में दिखाया गया है। ऐसे प्रारम्भक को चार अवसान वाला प्रारम्भक कहते हैं।

अ० धा० मोटरों का वेग नियंत्रण

अ० धा० मोटरों का वेग, मोटर दक्षता में बिना उपागण्य कमी किये ही बदला जा सकता है। इसलिये इनको बहुधा विचरणशील वेग प्रकार्यों के लिये प्रयोग किया जाता है। विचरणशील वेग प्रवर्तन की कुंजी, पहले दिये गये विरोधी विद्युत् गामक बल के समीकार में है :

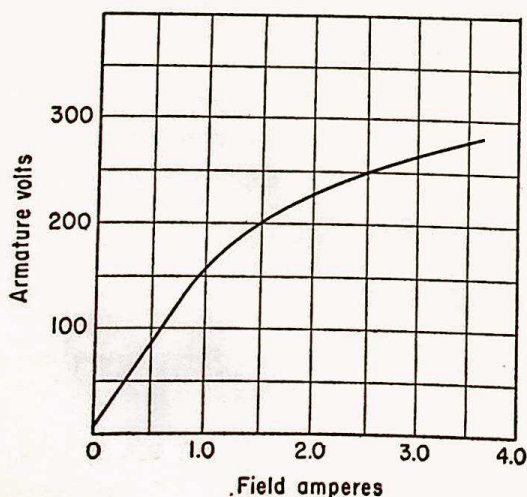
$$E_m = K.\phi.S., \text{ अथवा } S = K' \frac{E_m}{\phi}$$

जहाँ E_m, मोटर का विरोधी विद्युत्-गामक बल है, K मशीन का एक स्थिरांक, ϕ क्षेत्र स्यंद और S मोटर का वेग है।

इस समीकार के अध्ययन से यह ज्ञात होगा, कि वेग, क्षेत्र स्यंद के परिमाण के प्रतीपानुपात में तथा आरोपित वोल्टता के समानुपात में विचरण करेगा। क्षेत्र विचरोधक का रोध बढ़ाकर, क्षेत्र स्यंद को कम कर देना और इस प्रकार मोटर के वेग में वृद्धि कर देना इस विधि से काफी सरल है। इसीलिये यह, अ० धा० मोटरों के वेग नियंत्रण की सबसे सामान्य विधि है।

यदि क्षेत्र स्यंद को स्थिर रक्खा जाय और धात्र वोल्टता का विचरण किया जाय, तो वेग भी समानुपात में विचरण करेगा। धात्र वोल्टता को बहुधा,

शक्ति परिपथ में एक रोधक का निवेशन करके घटाया जाता है (जैसा कि प्रारम्भण के समय)। साधारणतया, यह विधि क्रेन में प्रयोग होने वाली माला मोटरों में प्रयुक्त होती है। धात्र वोल्टता का विचरण, मोटर के लिये एक अलग जनित्र लगाकर, और इस जनित्र की वोल्टता का नियंत्रण करके भी किया जा सकता है। ऐसे प्रारूप के नियंत्रण को जो एलीवेटर (Elevator) और इस्पात मिल (Steel Mill) की मोटरों में प्रयोग किया जाता है, वार्ड-ल्योनार्ड नियंत्रण (Ward-Leonard Control) कहते हैं। इसकी व्याख्या बाद में की जायगी।

समायोज्य वेग मोटर (Adjustable Speed Motors) : समायोज्य वेग मोटर, वह मोटर है जिसमें मोटर के वेग का समायोजन किया जा सके; परन्तु एक बार समायोजन करने के पश्चात, वेग, भार के साथ आवश्यक रुप से स्थिर रहे। क्षेत्र विचरोधक (Field Rheostat) वाले अ० धा० पार्श्वायिन मोटर, वस्तुतः, समायोज्य वेग मोटर होते हैं। वेग के समायोजन की सीमा, मोटर की प्ररचना पर निर्भर करती है, यद्यपि सामान्य उपयोग में आने वाली स्थिर वेग मोटरों का वेग भी, क्षेत्र विचरोधक लगाकर क्षमित मान से दुगने तक बढ़ाया जा सकता है। वेग का इस मान से अधिक बढ़ाना, केन्द्रापग बल (Centrifugal Force) के कारण यांत्रिक विफलता (Mechanical Failure) का कारण हो सकता है; अथवा क्षेत्र चंडता की कमी से धात्र प्रतिक्रिया के कारण अस्थिरता (Instability) उत्पन्न हो सकती है।

चित्र 6-4 : 15 अ० श०, 230 वो०, समायोज्य वेग मोटर का, 700 प० प्र० मि० पर प्रवर्तन करते हुए, चुम्बकन वक्र

समायोज्य वेग मोटरों का प्ररचन उच्च वेग पर, केन्द्रापग बलों को सहन कर सकने के लिये किया जाता है। उच्च वेग के लिये अपेक्षित पार्श्वायिन क्षेत्र के चुम्बक गामक बल के अल्प मान के कारण धात्र प्रतिक्रिया का प्रभाव बहुत कठिनाई उत्पन्न करता है। इसलिये, इन मोटरों के प्ररचन तथा निर्माण में, धात्र प्रतिक्रिया के प्रभावों को कम करने अथवा निष्फलन करने के लिये, विशेष ध्यान दिया जाता है। परिणामतः, भार के साथ वेग का विचरण कम हो जाता है और व्यत्ययक के ऊपर वोल्टता का अधिक सकेन्द्रण

नहीं होने पाता। इस प्रकार, चार-एक के अनुपात में वेग विस्तार वाली मोटर (तथा विशेष प्ररचनाओं में 6 : 1 की भी) का प्ररचन संभव है; जो सभी वेगों के ऊपर उच्च दक्षता (Efficiency) से प्रवर्तन करेगी।

इन मोटरों की शक्ति सीमा, साधारणतया, धात्र तापन (Armature Heating) द्वारा निर्धारित होती है। तापन, प्रथमत:, धात्र धारा के वर्ग पर निर्भर करता है; इसलिये तापन सीमा, मशीन के लिये एक स्थिर सीमा है। उतनी ही आरोपित वोल्टता पर, प्रदत्त शक्ति (Power Delivered), वेग पर निर्भर नहीं करती। स्यंद में कमी के कारण, विभ्रमिषा में कमी (एक सम धात्र धारा के लिये), सामान्यत: बढ़ते वेग का केवल समकरण ही करेगी।*

अभ्यास 6-5 : एक 15 अ० श० 230 वो०, अ० धा० समायोज्य वेग मोटर का चुम्बकन वक्र चित्र 6-4 में दिखाया गया है। पार्श्वायिन क्षेत्र का रोध 70 ओम है और 400 ओम का एक क्षेत्र विचरोधक प्राप्य है। (*a*) धात्र रोध पात को नगण्य मानकर, वेग का परास निकालिये। (*b*) यदि धात्र रोध पात 15 वो० मान लिया जाय, तो वेग परास क्या होगा?

विचारणशील-वेग अ० धा० मोटर (Variable Speed D. C. Motar) **:** विचारणशील-वेग मोटर वह होती है, जिनमें भार के साथ वेग में पर्याप्त विचरण हो जाता है। विचरणशील-वेग मोटरें, बहुधा माला-मोटर अथवा बलशाली माला क्षेत्र वाली मिश्र मोटरें होती हैं। इन मोटरों में भार विभ्रमिषा में परिवर्तन होने से, धात्र धारा में परिवर्तन हो जाता है। इसके कारण क्षेत्र स्यंद में परिवर्तन हो जाता है; और इसलिये उपयुक्त मोटर जनित वोल्टता प्राप्त करने के लिये, वेग में परिवर्तन होना आवश्यक होता है। इस प्ररुप की मोटरों में, अधिक भार के लिये क्षेत्र बहुत प्रचंड होता है और दी हुई धात्र धारा पर अत्याधिक विभ्रमिषा प्रदान करता है। इसका आधार निम्नलिखित समीकार है :

$$T = K'.\phi.I_a$$

ऐसी मोटरें, वहाँ अधिक उपयोगी होती हैं, जहाँ भार का अधिक विचरण होता हो; और एकसम वेग न तो आवश्यक ही हो और न अपेक्षित ही। विचरणशील वेग मोटरों की प्रयुक्तियाँ अधिकतर क्रेन, कर्षक, पुल और स्ट्रीटकारों में होती है।

जहाँ स्थिर अधिकतम वेग अपेक्षित हो, वहाँ मिश्र मोटर प्रयोग की जाती है। पन्च प्रेस (Punch Press) क्रशर, (Crusher) तथा वाहकों (Conveyers) जैसे भारों के लिये मिश्र मोटरें उपयक्त होती हैं।

---

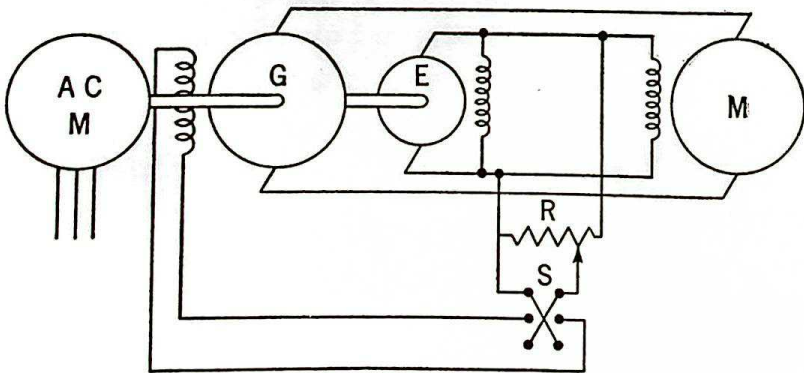
* जहाँ विस्तृत वेग परास अपेक्षित होता है, तो उच्च वेग परास में, क्षेत्र-नियंत्रण सहित आमापित (Standard) समायोज्य वेग मोटर प्रयोग करना वांछनीय होता है, तथा आधार वेग से कम पर, धात्र रोध नियंत्रण उपयुक्त होता है।

अभ्यास 6-6 : अभ्यास 6-5 के चुम्बकन वक्र के समान चुम्बकन वक्र वाली एक मोटर के माला क्षेत्र का चुम्बक गामक बल, पूर्ण भार पर 2 अम्प० पाश्र्वायिन धारा के बराबर होता है। इसमें पाश्र्वायिन क्षेत्र धारा 1 अम्प० पर स्थिर है। शक्ति प्रदाय 240 वोल्ट पर है। धात्र रोधपात को नगण्य मानकर शून्यभार वेग, पूर्ण भार वेग तथा 150% पूर्ण भार पर वेग निकालिये।

अ० धा० मोटरों का समायोज्य वोल्टता नियंत्रण (Adjustable Voltage Control for D. C. Motors) : जिन मशीनों में उससे अधिक वेग परास की आवश्यकता हो, जितना कि क्षेत्र नियंत्रण द्वारा प्राप्त किया जा सकता है, अथवा उन प्रयक्तियों में जिनमें बहुधा तथा द्रुत उत्क्रमण (Rapid Reversal) अपेक्षित होता है, उनमें समायोज्य वोल्टता नियंत्रण ही सबसे आधक संतोषजनक होता है। सबसे सरल रूप में, इस नियंत्रण तन्त्र में निम्नलिखित सज्जा अन्तर्हित होती है :

1. एक पाश्र्वायिन मोटर जिसका क्षेत्र अलग से प्रदीपित हो।
2. पृथक् प्रदीपन वाला एक पाश्र्वायिन जनित्र तथा उसके लिये एक विचरोधक अथवा शक्ममीटर।
3. प्रदीपक, (Exciter) अथवा एकसम वोल्टता का अ० धा० प्रभव।
4. जनित्र तथा प्रदीपक के लिये एक चलाने वाली मोटर।

ये सब चित्र 6-5 में दिखाये गये हैं।

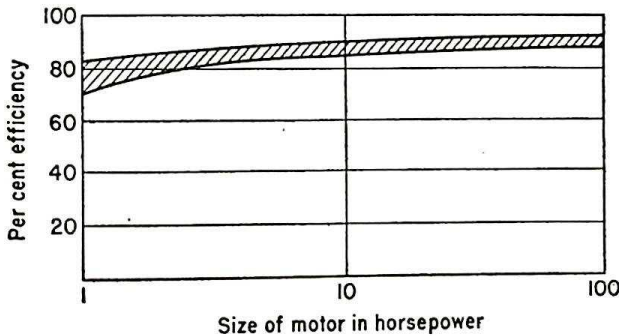
जनित्र क्षेत्र के विचरोधक का प्रवर्तन करने से धात्र वोल्टता के परास (Range) में पर्याप्त विचरण [अवशेष मान (Residual Value) से सामान्य

चित्र 6-5 : अ० धा० मशीनों का वार्ड-ल्योनार्ड नियंत्रण

क्षमित मान] तक संभव है। मोटर धात्र पर ऐसी वोल्टता के आरोपित करने से वेग में विस्तृत परास प्राप्त हो सकता है। मोटर स्यंद के एकसम होने के कारण, किसी भी वेग पर पूर्ण भार धारा से पूर्ण भार विभ्रमिषा प्राप्त हो सकेगी। इसलिये इस प्रकार के चालक (Driver), एकसम विभ्रमिषा वाले भारों के

लिये सबसे उपयुक्त होते हैं। मोटर का स्थावित (Stabilized) वेग, मोटर जनित वोल्टता के साथ विचरण करेगा, जैसा कि पहले दिखाया जा चुका है।

संभव वेग परास, नियंत्रण की सरलता, श्रेष्ठ त्वरण लक्षण (Smooth Acceleration), धात्र रोधकों और बड़े संस्पर्शकों के निरसन के कारण, यह तन्त्र बहुत सी औद्योगिक मशीनों [जैसे बड़े-बड़े शक्ति कुदाल (Power Shovels)] लिये आदर्श होता है।

अ० धा० मशीनों की दक्षता (Efficiency of D. C. Machines)

जैसा कि लगभग सभी प्रकार की विद्युत् मशीनों में होता है, बड़े आकार की मशीनों की दक्षता, छोटी मशीनों की अपेक्षा, ऊँची होती है। 1 अ० श० वाली मोटर की दक्षता लगभग 80% होती है; जब कि 60 अ० श० वाली मोटरों की दक्षता 90% तक होती है। यह विचरण केवल आकार पर ही नहीं, वरन् क्षमित वेग पर भी निर्भर करता है। दक्षता का यह परास चित्र 6-8 में दिखाया गया है, जिसमें छायावित क्षेत्रफल, सामान्य विचरण को देशित करता है। यह विचरण, वेग और विभिन्न निर्माताओं की प्ररचन विधियों के कारण होता है।

चित्र 6-6 : **मोटर के आकार के अनुसार दक्षता का विचरण**

विद्युत् मशीनों का यह विशेष लक्षण होता है, कि मोटर के पूर्ण जीवन काल तक, दक्षता, अवश्यतः एकसम रहती है, क्योंकि हानियाँ ऐसे प्ररूप की होती है जो कि उपयोग के कारण नहीं बदलती। हानियों में कोई भी परिवर्तन अतिपापन (Heating) उत्पन्न कर सकता है, जिसके कारण सज्जा का विफलन भी संभव है।

क्षमता एवं निष्पादन (Rating & Performance) : मोटरों को उनकी प्रदत्त अश्व शक्ति, प्रवर्तन के वेग, वोल्टता और अपेक्षित शक्ति प्रदाय (Power Supply) के प्ररूप से निर्धारित किया जाता है। इसी तरह, जनित्रों को, प्रदाय होने वाली धारा, वोल्टता, संभावी शक्ति प्रदा और प्रवर्तन के वेग से, निर्धारित किया जाता है।

मशीन की क्षमता, प्ररचना द्वारा निश्चित होती है। जैसा पाँचवें अध्याय में पर्यालोचित किया गया है, सामान्य क्षेत्र स्यंद में निर्धारित वेग पर प्रवर्तन करते

हुए, निर्दिष्ट वोल्टता प्राप्त करने के लिये, धात्र में प्रर्याप्त माला संवाहक होने चाहियें। जनित्र तथा मोटर दोनों में ही, धात्र संवाहकों को निर्दिष्ट धारा वहन करने के योग्य होना चाहिये। मोटर में यह क्षमित धारा, इतनी विभ्रमिषा उत्पन्न करेगी, कि ईषा पर, निर्धारित अश्व शक्ति प्रदाय की जा सके। दूसरे शब्दों में, विद्युत् मशीनों को उनके प्रदा (Output) के आधार पर निर्धारित किया जाता है।

अधिकांश मोटर और जनित्र, स्थिर वोल्टता मशीनें होती हैं। उनकी प्रदा, धात्र धारा के ऊपर निर्भर करती है। इसलिये धात्र धारा वहन करने की क्षमता ही उनके लिये सीमाकारक होती है। मशीन की धारा वहन योग्यता, व्यत्ययन तथा अति तापन द्वारा सीमित होती है, जिनके कारण विसंवाहन को क्षति पहुँच सकती है।

मोटर के प्रारम्भण के सम्बन्ध में, व्यत्ययन की परिसीमाओं का उल्लेख किया गया है। अधिकांश मोटरें, निर्दिष्ट धारा से दुगनी धारा तक के क्षणिक अतिभार को संतोषजनक रूप से व्यत्ययन (Commutate) कर लेगी। 1 मिनट तक के लिये, 150% तक के अतिभार भी व्यत्ययन की सीमा के अन्दर होंगे।

इस कारण, अनवरत प्रवर्तन के लिये, वास्तविक सीमा तापन की सीमा है। 85% दक्षता वाली एक 10 अ० श० की मोटर में लगभग 1300 वाट विद्युत् ऊर्जा ताप में परिवर्तित होती है। इसके कारण मोटर का तापमान तब तक बढ़ता रहेगा जब तक कि विकिरण (Radiation) तथा संवहन (Convection) ताप को उसी शीघ्रता से निप्रथित नहीं कर देते, जिस शीघ्रता से वह ऊर्जा ताप में परिवर्तित होती है।

साधारण विसंवाहन के लम्बे जीवन के लिये सीमाकारक तापमान, वातावरण के तापमान से 40°C अधिक पर निर्धारित किया गया है। इस कारण, औसत तापमान, ग्रीष्म ऋतु में भी 70°C तक ही सीमित हो जाता है। इस तापमान से कम पर, व्यापित रुई (Impregnated Cotton) तथा दूसरे सामान्य विसंवाहनों को कोई क्षति नहीं पहुँचती। जहाँ पर अभ्रक (Mica) और रेशा-काँच (Fibre Glass) उपयोग किये जाते हैं, वहाँ, मशीन को बिना क्षति पहुँचाये, तापमान को 10° से 35° तक और भी बढ़ाया जा सकता है। मशीन में तापन सदैव एकसम नहीं होता। वास्तव में कुछ ऐसे स्थान भी होते हैं, जहाँ ताप का निप्रथन अन्य सामान्य स्थानों की भाँति अच्छा नहीं होता। अकस्मात अतिभार के हो जाने पर इन स्थानों की तापन स्थिति गंभीर (Critical) हो जाती है, क्योंकि ये शेष मशीन की अपेक्षा अधिक शीघ्रता से गर्म होते हैं।

इस प्रकार मशीन को, उस धारा अथवा अश्व शक्ति से निर्धारित किया जाता है जो वह बिना 40°C तापमान वृद्धि के, अनवरत रूप से प्रदाय कर सके। सीमाकारक तापमान तक पहुँचने में काफी समय लगता है, इसलिये यह संभव है

कि अनवरत क्षमता (Continuous Rating) से अधिक एक विशेष सविराम क्षमता (Intermittent Rating) निर्धारित की जा सके। क्षणिक अथवा अल्प समय के लिये, मोटर से यह आशा की जा सकती है कि बिना अतितापन के यह सविराम क्षमता से भी अधिक भार वहन कर सके।

N.E.M.A. प्रमाप : प्रमापन के लाभ प्राप्त करने के लिये, विमा (Dimension), वोल्टता, वेग, अश्व शक्ति, किलोवाट क्षमता तथा निष्पादन के प्रमाप, राष्ट्रीय विद्युत् निर्माता संघ (National Electrical Manufacturers Association) द्वारा स्थापित किये गये हैं।

विमा के प्रमाप, आधार (Base) की ईषा के केन्द्र से दूरी, ईषा का आकार और मोटर के प्रत्येक आकार के लिए आरोहित बोल्टों (Mounting Bolts) का स्थान निर्धारित करते हैं। सामान्यतः, इन प्रमापों के आधार पर ही मशीनों की प्ररचना की जाती है जिससे उपयुक्त आकार की कोई भी मोटर आरोहण में फ़िट हो सके।

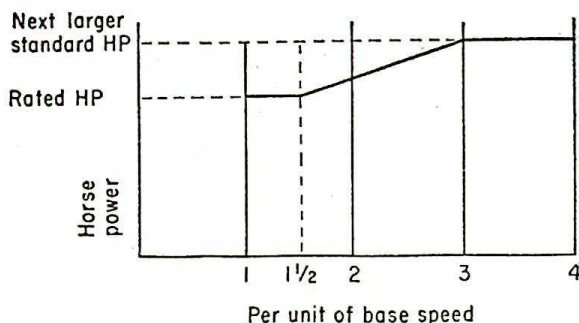
अ० धा० मशीनों की वोल्टता, साधारणतया, जनित्र के लिए 250 वोल्ट तथा मोटर के लिये 230 वो० निर्धारित होती है।

मोटर निम्नलिखित प्रमापित आकारों में निर्माण किये जाते हैं : 1, $1\frac{1}{2}$, 2, 3,5,$7\frac{1}{2}$,10,15,20 और 25 अश्व शक्ति। इनसे छोटे और बड़े आकार भी प्रमापित होते हैं, परन्तु ये प्रमाप इस सूची में नहीं दिये गये हैं। इन सभी आकारों में, प्रमापित वेग का काफ़ी परास प्राप्त किया जा सकता है। प्रमापित वेग, सामान्यतः प्ररोचन मोटरों (Induction Motors) के प्रमापित वेगों के संरूप ही होते हैं, जैसा बाद के एक अध्याय में अध्ययन किया जायगा। सबसे सामान्य आधार वेग 3500, 1750, 1150, 850 प० प्र० मि०* हैं। 100 प० प्र० मि० तक के निचले आधार वेग भी प्राप्त किये जा सकते हैं।

समायोज्य वेग मोटर वह होती है, जो भार के साथ स्थिर वेग संधारित करें परन्तु जिनका वेग समयोजित (Adjust) किया जा सके। अ० धा० मोटरों में, ये सामान्यतः, पार्श्वायन मोटर होती है जिनकी प्ररचना इस प्रकार की जाती है, कि आधार वेग के 3 से 4 गुना तक का वेग प्राप्त करने के लिये क्षेत्र को व्यवस्थापित किया जा सके। ऐसी मोटरों में, परिभ्रमण के अधिक वेग पर, अच्छा संवातन प्राप्त होता है, जिसके कारण अधिक अश्व शक्ति प्राप्त हो सकती है। N.E.M.A. प्रमाप, इस वृद्धि को चित्र 6-7 के वक्र के अनुसार निर्धारित करते हैं।

निदर्शन के लिये, कल्पना कीजिये कि एक 10 अ० श० का समायोज्य वेग मोटर विचाराधीन है जिसका आधार वेग 500 प० प्र० मि० है। आधार वेग पर, पूर्ण पार्श्वायन क्षेत्र रहते हुए इसको क्षमित भार तक भारित किया

* ये वेग, 60 चक्र के आधार पर दिये गये हैं जो अमेरिका में प्रयोग होते हैं।

जा सकता है और 40°C तक की तापमान वृद्धि का अनुमनन किया जा सकता है। 500 से 750 प० प्र० मि० तक क्षमता उतनी ही रहती है परन्तु 750 प० प्र० मि० के वेग पर अनुमनन योग्य तापमान वृद्धि 40°C तक घट जाती है। आधार वेग के तीन गुना वेग पर (1500 प० प्र० मि०) मोटर को उसके दूसरे बड़े प्रमाणित आकार तक क्षमित किया जा सकता है, जो 15 अ० श० है। 750 से 1500 प० प्र० मि० के बीच में, क्षमता, सीधी रेखा के अनुसार बढ़ती है। 1500 से 2000 प० प्र० मि० तक (जो प्रमापित वेग विचरण की सीमा है) अश्व शक्ति क्षमता, 15 अ० श० पर स्थिर रहती है। बड़ी अ० धा० मोटरें, 3600 से अधिक वेग पर प्रवर्तन नहीं करतीं, चाहे आधार वेग 1800 प० प्र० मि० ही हो। इसका कारण, व्यत्ययन तथा वर्तन के ऊपर अत्याधिक केन्द्रापग बल का हो जाना है।

चित्र 6-7 : **समायोज्य वेग अ० धा० मोटरों की क्षमता विचरण**

यह अवलोकित होगा कि ये क्षमतायें कुछ स्वेच्छ (Arbitrary) हैं, परन्तु निर्माताओं के लिये ये प्रमापन (Standardization) का आश्वासन देती हैं। विद्युत् मशीनों के प्रवर्तन में प्रधान इंजीनियर को निर्णय करने की अनुमति दी जाती है (यदि निर्णय दशाओं का ठीक ज्ञान रख कर किया जाय)। उदाहरणतया, शीतकाल में बिना सुरक्षित प्रवर्तन तापमान (Safe Operating Temperature) का अतिक्रम किये, अधिक भार का अनुमनन किया जा सकता है।

जहाँ B वर्ग का विसंवाहन प्रयोग किया जाता है, वहाँ काफी उच्च तापमान अनुमत होता है, और इन मोटरों की अनवरत क्षमता 75°C तापमान वृद्धि तक भी निर्धारित की जा सकती है। ऐसी मोटरों का प्रयोग, भट्ठियों के निकट, अथवा ऐसे स्थानों पर विशेषतया अपेक्षित होता है, जहाँ का तापमान सामान्यतया ऊँचा हो।

यदि मोटरों का चयन, प्रमापों के अनुसार किया जाय तो कम व्यय तथा शीघ्र उपलब्धि, दोनों ही लाभ प्राप्त हो सकते हैं। किसी भी आवश्यकता के लिये, आकार तथा निष्पादन दोनों में ही काफी विभिन्नता उपलब्ध होती है।

जब विशेष मोटर निर्धारित की जाती है, तो इसका अर्थ है, कि लेने वाला काफ़ी ऊँचा मूल्य देने के लिये तैयार है, और उसको विशेष नाम पट्टी (Name Plate) वाली प्रमापित मोटर के लिये काफी प्रतीक्षा करनी पड़ेगी।

अभ्यास 6-7 : 10 अ० श०, 230 वोल्ट, 1800 प० प्र० मि० वाली एक खुली हुई मोटर किसी निर्माण कार्य में एक पट्टी-वाहक (Belt Conveyor) को चला रही है। किसी कारण से उसका वर्तन (Winding) क्षत हो जाता है, और दूसरा मोटर जो उपलब्ध है, वह 5 अ० श०, 230 वो० 900 प० प्र० मि० का है। बिजली मिस्त्री यह सुझाव देता है, कि इसमें एक क्षेत्र रोधक लगाकर वेग को 1200 प० प्र० मि० तक बढ़ाकर प्रयोग किया जाय, जिससे वह कम धारिता (Capacity) पर प्रवर्तन कर सकेगा। क्या आप उसके अभिस्ताव का अनुमोदन करेंगे? अपने उत्तर का पूर्ण औचित्य दीजिये।

अ० धा० मशीनों का संरक्षण (Protection of D.C. Machines)

सभी जनित्र एक परिपथ त्रोटक (Circuit Breaker) अथवा ज्वाल (Fuse) के द्वारा रक्षित होने चाहियें, जो तन्त्र में किसी भी स्थान पर लघुपरिपथन (Short Circuit) हो जाने पर, परिपथ को भंग कर दें। ऐसे त्रोटकों को, क्षणिक अतिभार अवस्था में, (जैसा कि मोटर के प्रारम्भ के समय) त्रोटित (Trip) नहीं होना चाहिये। परन्तु यदि भार मशीन की व्यत्ययन सीमा के बाहर निकल जाय, तो इन्हें जनित्र को शीघ्रता से वियुजित (Disconnect) कर देना चाहिये। इसलिये, अ० धा० जनित्र के लिये त्रोटकों को, साधारणतया, सामान्य भार के दुगुने पर तुरन्त ही त्रोटित होने के लिये समायोजित किया जाता है।

मोटरों को ज्वाल अथवा स्विच के द्वारा रक्षित किया जा सकता है। ज्वाल तथा स्विच दोनों ही अधिमान्यतः, ताप संग्रहण युक्ति (Heat Storage Device) सहित लगाये जाते हैं, जिससे वह प्रारम्भण अथवा क्षणिक भार अवस्था में त्रोटित नहीं होते। परन्तु ऐसे लगातार अतिभार होने पर, जो मोटर में अतितापन उत्पन्न कर सकें, वह तुरन्त ही त्रोटित होकर परिपथ को खोल देते हैं। कुछ छोटे मोटरों में, ताप नियंत्रक (Thermostat) भी लगे होते हैं, जो मोटर के तापमान को, सुरक्षित तापमान से अधिक हो जाने पर मोटर के परिपथ को खोल देते हैं।

सातवाँ अध्याय

प्रत्यावर्ती धारा परिपथ

(ALTERNATING-CURRENT CIRCUITS)

प्रत्यावर्ती धारा तथा वोल्टता

प्रत्यावर्ती धारा अथवा वोल्टता उस धारा अथवा वोल्टता से परिभाषित की जाती है, जिनकी दिशा आवर्ती रूप में (Periodically) परिवर्तन करती है। दूसरे शब्दों में, परिपथ में धारा का प्रवाह अथवा इलेक्ट्रॉनों का अपवहन (Drift) पहले एक दिशा में होता है और फिर दूसरी में ; तथा यह परिवर्तन नियमित अन्तराल (Regular Intervals) में होता है।

एक पूर्ण परिवर्तन हो जाने की वारंवारता (Frequency), अधिकांश निवास स्थानों के विद्युत्-शक्ति प्रदाय में सामान्यतः, 50 बार प्रति सेकंड, टेलीफ़ोन संचारण (Telephone Communication) में ध्वनि तथा संगीत तरंगों में 20 से 10000 बार प्रति सेकंड ; तथा संचारण और दूसरे संज्ञपन उपयोगों (Signal Purposes) में प्रयोग होनेवाली रेडियो संज्ञप्तियों (Radio Signals) में, करोड़ों बार प्रति सेकंड होती है। प्रत्यावर्ती धारा की अधिकतर प्रयुक्तियों में, समय के साथ विचरण होता है, तथा यह विचरण, एक संतत विचरणशील कोण के ज्या (Sine) के विचरण के अनुसार होता है। ऐसी प्रत्यावर्ती धारा अथवा वोल्टता समय के अनुसार ज्या रूप (Sinusoidally) में विचरण करती हुई, अथवा एक ज्या तरंग कही जाती है।

प्रकृति में ज्या तरंगें (Sine Waves in Nature) : एक स्वरित्र (Tuning Fork) ध्वनि (अथवा वायुमंडल के दबाव में विचरण) उत्पन्न करता है, जो समय के साथ ज्या रूप में विचरण करता है। एक घड़ी का पेन्डुलम अपने ज्यावर्ती चलन में, ऊर्जा का गतिज से स्थितिज रूप में (Kinetic to Potential) आगे पीछे विवर्तन करता है। यदि एक लोहा काटने-वाली आरी की पत्ती को एक वाइस (Vice) में कस दिया जाय तो उसके सिरे पर रक्खे हुए एक भार को ज्यावर्ती चलन में, दोलन (Oscillate) कराया जा सकता है। यह दोलन भी, ऊर्जा का गतिज (Kinetic) से विकृति ऊर्जा (Strain Energy) के रूप में आगे पीछे विवर्तन करेगा।

पेट्रोल एंजिन के कम्पन भी, जो परिभ्रमण करनेवाले अंशकों के असंतुलन, तथा पिस्टन पर आरोपित असम बलों के कारण उत्पन्न होते हैं, एंजिन के ज्यावर्ती चलन के रूप में दृष्टिगोचर होते हैं। उच्च वारंवारता के विद्युत् तापन यंत्र

(High Frequency Electric Heating Unit) के समस्वरित परिपथ (Tuned Circuit) के दोलन भी ज्यावर्ती होते हैं।

विद्युत् सज्जा में ज्या तरंग (Sine Waves in Electrical Equipment) : शक्ति प्रभव से, विद्युत् सज्जा पर, ज्यावर्ती वोल्टता प्रदाय करने के आश्वासन का प्रत्येक प्रयत्न किया जाता है। आधुनिक शक्ति परिपथों में, यह इतने निकट तक निष्पादित हो जाता है, कि बिना उपागण्य अशुद्धि किये, ज्यावर्ती वोल्टता की कल्पना की जा सकती है।

उच्च वारंवारता तापन यंत्रों में, [जैसे ढलाई (Moulding)] प्रवर्तनों में प्रयुक्त होनेवाले थर्मोप्लास्टिक (Thermoplastic) के पूर्वतापन (Pre-heating) के लिये ; और छोटे गियरों (Gears) के तल-तापन (Surface-heating) तथा घनीकरण (Hardening) के लिये, दोलन, ज्यावर्ती ही होते हैं। इनका कारण, विद्युत् तथा चुम्बकीय क्षेत्रों के बीच ऊर्जा के अन्तर-परिवर्तन की प्रकृति है।

धारा तथा वोल्टता के ज्यावर्ती विचरण का सभी प्र० धा० (A.C.) सज्जाओं में विस्तृत रूप से उपयोग होता है। इस कारण, इनके लक्षण काफ़ी विस्तार से अध्ययन किये जायंगे।

ज्या तरंगों का काल-प्रवस्था अंकन
(Time-phase plotting of sine waves)

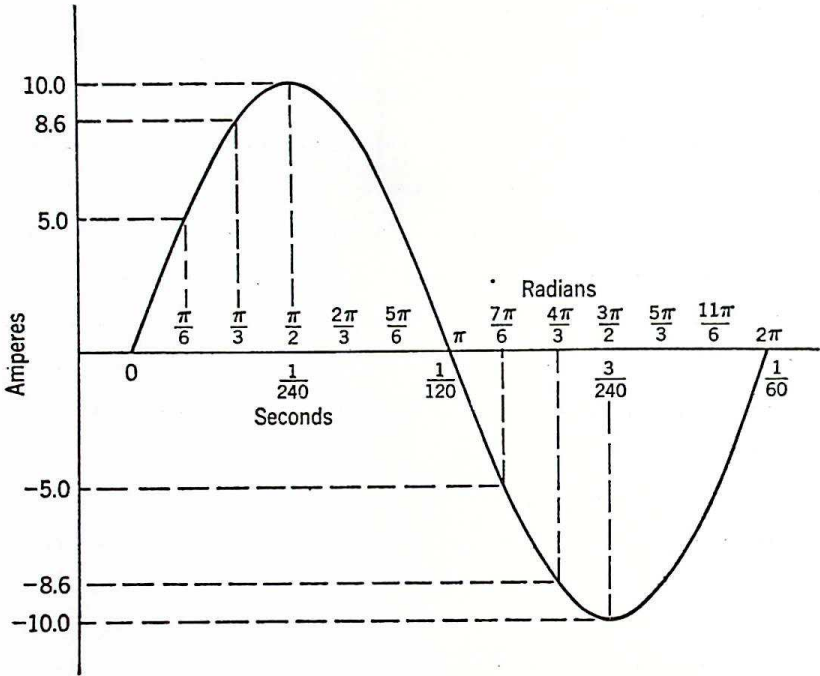
धारा के तात्क्षणिक मान (Instantaneous Value) को कोटि (Ordinate) तथा समय के तत्सम्बन्धी मान को उसके विरुद्ध भुजा (Abscissa) पर अंकित करके ; समय के साथ धारा के विचरण* को सरलतापूर्वक निरूपित किया जा सकता है। 10 अम्प० अधिकतम मान की धारा का एक ऐसा वक्र चित्र 7-1 में दिखाया गया है। काल अनुमाप (Time Scale), अक्ष (Axis) के ठीक नीचे दिखाया गया है। मुख्य बिन्दु, सेकंड की भिन्नों में निर्धारित किये गये हैं। यह देखा जाता है, कि एक पूर्ण चक्र को $\frac{1}{60}$ सेकंड लगते हैं अथवा एक सेकंड में 60 पूर्ण चक्र होते हैं†। ऐसी ज्या तरंग को 60 चक्र प्रति सेकंड की वारंवारता वाला कहा जाता है।

काल अनुमाप के ऊपर रेडियन (Radian) में कोणीय मापन (Augular Measure) का अनुमाप भी दिखाया गया है। यह कोणीय अनुमाप,

---

* एकसम वायुविच्छेद में परिभ्रमण करते हुए, एक आयताकार कुंडल द्वारा, ज्यावर्ती प्र० धा० वोल्टता के जनन का पर्यालोचन चौथे अध्याय में किया गया है।

† अमेरिका में शक्ति प्रदाय सामान्यतः 60 चक्र प्रति सेकंड पर होता है। इसलिये इस पुस्तक में अधिकतर 60 चक्र का ही उल्लेख किया गया है। भारत में शक्ति प्रदाय, सामान्यतः, 50 चक्र पर होता है।

विचरण का ज्यावर्ती गुण दर्शित करता है, क्योंकि प्रत्येक दशा में कोटच्यंक (Ordinate) कोण के ज्या की 10 गुनी है। काल तथा कोण में एक

चित्र 7-1 : **समय के अनुसार ज्यावर्ती विचरण**

निश्चित सम्बन्ध है। गणितानुसार इसे इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$\theta = 2\pi f t$$

जहाँ f वारंवारता तथा t सेकंड में समय है। किसी भी विशिष्ट क्षण पर धारा को इस प्रकार लिखा जा सकता है :

$$i = I_{max} \sin\ (2\pi ft)$$

चित्र 7-1 में दिखाई गई धारा के लिये :

$$i = 10 \sin\ (2\pi \times 60t) = 10 \sin\ 377t$$

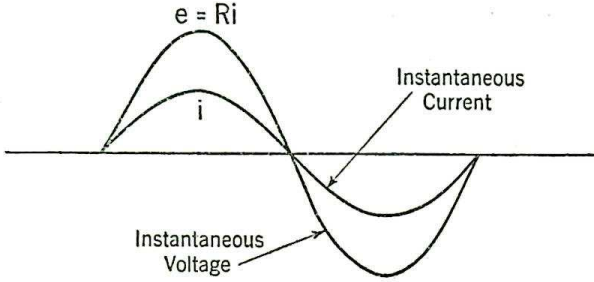
अभ्यास 7-1 : 25 अम्प० अधिकतम मान की, तथा 400 चक्र प्रति सेकंड की वारंवारता वाली ज्यावर्ती प्र० धा० का रेखांकन कीजिये।

अभ्यास 7-2 : एक 50 चक्रीय परिपथ में, शून्य मान के 0·005 सेकंड बाद धारा का मान निकालिये, जब कि उसका अधिकतम मान 100 अम्प० हो।

रोधक में प्रत्यावर्ती धारा

ओम नियम के अनुसार, रोधक के आर-पार वोल्टता, उसके रोध एवं धारा के गुणन के बराबर होती है। अतः तात्क्षणिक वोल्टता (Instantaneous Voltage) को इस प्रकार लिखा जा सकता है :

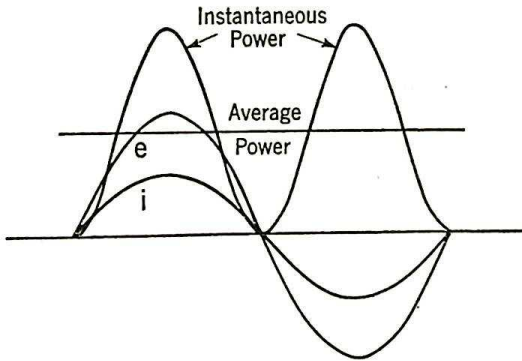
$$e = R\,i = R\,I_{max}\,\sin\,(2\pi ft)$$
$$= E_{max}\,\sin\,(2\pi ft)$$

यह सम्बन्ध चित्र 7-2 में दिखाया गया है, जिसमें e भी धारा की ही भाँति एक ज्या तरंग है, परन्तु उसका परिमाण Ri के बराबर है। किसी भी क्षण

चित्र 7-2 : रोधक में प्रत्यावर्ती धारा तथा वोल्टता का सम्बन्ध

पर शक्ति, रोध एवं धारा के वर्ग के गुणन के बराबर होगी। इसको इस प्रकार लिखा जा सकता है :

$$p = i^2 R = R\,I^2_{max}\,\sin^2\,(2\pi ft)$$

चूँकि $\sin^2 x = \frac{1}{2}\,(1 - \cos\,2x)$, इसलिये उपर्युक्त समीकार को इस प्रकार लिखा जा सकता है :

$$p = \frac{R\,I^2_{max}}{2} - \frac{R\,I^2_{max}}{2}\cos\,(4\pi ft).$$

चित्र 7-3 : रोधक में तात्क्षणिक प्र० धा० शक्ति

दाहिनी ओर के दूसरे पद का एक पूर्ण चक्र में औसत मान शून्य होने के कारण औसत शक्ति,

$$P_{avg} = \frac{R\,I^2_{max}}{2}.$$

ये मान चित्र 7-3 में दिखाये गये हैं, जिसमें तात्क्षणिक तथा औसत शक्ति के वक्रों को चित्र 7-2 के धारा तथा वोल्टता के वक्रों के साथ में दिखाया गया है।

अभ्यास 7-3 : 1000 चक्र प्रति सेकंड की वारंवारता वाले परिपथ में, 5 ओम के रोध में 2 अम्प० धारा प्रवाहित हो रही है। धारा, वोल्टता तथा शक्ति के वक्रों को रेखांकित कीजिये।

अभ्यास 7-4 : एक रोधक में प्रवाहित होनेवाली धारा तथा वोल्टता का रेखांकन कीजिये, यदि प्र० धा० का अधिकतम मान 25 मिलि अम्प० हो और रोध 120 ओम हो। वारंवारता को 2000 चक्र प्रति सेकंड, मान लीजिये।

प्र० धा० तरंगों के अधिकतम तथा प्रभावी मान (Maximum and Effective Values of A.C. Waves)

प्र० धा० तरंगों का परिमाण, अब तक उनके अधिकतम मान से निर्धारित किया गया है। यद्यपि कुछ उपयोगों के लिये यह विधि संतोषजनक है, तथापि, सामान्यतः, प्रत्यावर्ती राशियों को उनके प्रभावी मान से ही देशित किया जाता है। **प्रत्यावर्ती धारा का प्रभावी मान, धारा का वह मान है जो एक रोधक में प्रवाहित होते हुए, उतना ही औसत तापन प्रभाव उत्पन्न करे, जितना कि उतने ही अम्पीयर की अव्यवहित धारा।**

इस परिभाषा से :

$$P_{avg} = I^2_{eff}\,R$$

तथापि पिछले परिच्छेद में यह दिखाया गया था कि,

$$P_{avg} = \frac{I^2_{max}\,R}{2}$$

इसलिये, $$I^2_{eff}\,R = \frac{I^2_{max}\,R}{2}$$

और $$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

तालिका 7-1 में 60 चक्रीय धारा के लिये, प्रत्येक 10° अथवा 0·00046 सेकंड के अन्तराल पर धारा तथा धारा के वर्ग के मान दिये गये हैं। सरल गणित द्वारा इस तालिका से यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है, कि धारा के वर्ग का औसत मान, अधिकतम धारा मान के वर्ग को 2 से भाग देकर प्राप्त होनेवाले मान के बराबर है। इससे स्पष्ट है, कि प्रभावी मान को R.M.S.

(Root-Mean Square) मान से देशित करने का कारण यह है कि प्रभावी मान, धारा मान के वर्ग के औसत का वर्गफल है* ।

तालिका 7–1

10 अम्प० अधिकतम मान की ज्या तरंग के औसत तथा प्रभावी मान का निश्चायन

Time (sec)	Degrees	i (amp)	i^2
.00046	10	1.74	3.03
.00093	20	3.42	11.79
.00139	30	5.00	25.00
.00185	40	6.43	41.35
.00231	50	7.66	58.67
.00278	60	8.66	75.00
.00324	70	9.40	88.36
.00370	80	9.86	97.22
.00416	90	10.00	100.00
.00463	100	9.86	97.22
.00509	110	9.40	88.36
.00555	120	8.66	75.00
.00602	130	7.66	58.67
.00648	140	6.43	41.35
.00695	150	5.00	25.00
.00741	160	3.42	11.79
.00787	170	1.74	3.03
.00833	180	0.00	0.00
	Sum	114.34	900.8
	Average	6.36	50.0

Equivalent d-c current $= \sqrt{50.0} = 7.07$ amp.

प्रत्यावर्ती धारा तथा वोल्टता दोनों ही अपने प्रभावी मान में व्यक्त की जाती हैं। अधिकतम मान तथा प्रभावी मान का अनुपात ज्या तरंगों में $\sqrt{2}$ के बराबर होता है। किसी रोधभार (Resistance Load) में औसत शक्ति, प्रभावी धारा तथा प्रभावी वोल्टता के गुणन के बराबर होती है। अर्थात् $P=EI$ इसे, औसत शक्ति से इस प्रकार भी विकसित किया जा सकता है :

$$P_{av}=\frac{I^2_{max}R}{2}=\frac{I_{max.}}{\sqrt{2}}\cdot\frac{I_{max.}R}{\sqrt{2}}=\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}=EI$$

* उपर्युक्त सम्बन्ध, यह मान कर विकसित किये गये हैं, कि धारा तथा आरोपित वोल्टता ज्यावर्ती हैं। अनियमित तरंगों वाली धारा के प्रभावी मान की परिभाषा, "वह धारा जो अ० धा० के समान ही तापन प्रभाव अथवा औसत शक्ति उत्पन्न करे" अब भी इसी प्रकार है। अनियमित तरंगों के प्रभावी मान के प्रयोग से यह निश्चय करना संभव है कि एक रोधक किसी निर्दिष्ट धारा को सन्तोषप्रद रूप से वहन कर सकेगा, अथवा अति तापित हो जायगा। अ-ज्यावर्ती (Non-Sinusoidal) धाराओं में अधिकतम धारा का प्रभावी धारा से अनुपात साधारणतया $\sqrt{2}$ नहीं रहता।

कुछ प्रकार के प्र० धा० मीटर, प्र० धा० का ऋजुकरण कर देते हैं, और इस प्रकार उनका वाचन, (Reading) धारा तथा वोल्टता के अर्धतरंग मान (Half-Wave Value) के औसत के अनुपात में होता है।

ज्यावर्ती प्र० धा० मान को निर्धारित करनेवाले विभिन्न रूप निम्नलिखित हैं :

अ) तात्क्षणिक मान (Instantaneous Value) :

$$i = I_m \sin\ (2\pi ft) = I_m \sin\ wt$$

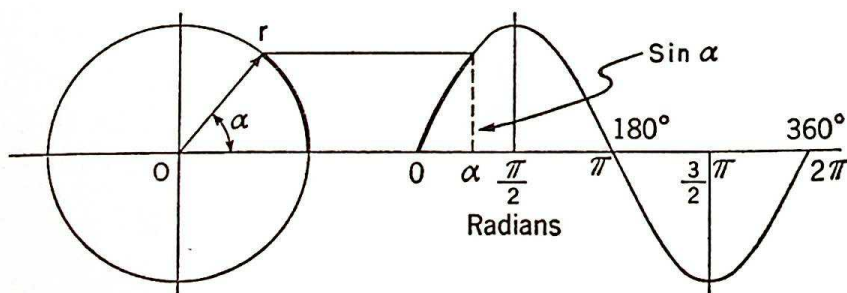
ब) औसत मान (अर्ध तरंग का) :

$$I_{av} = \frac{1}{\pi}\int_{0}^{\pi} I_m \sin\ (wt)\ d\ (wt) = \frac{2}{\pi}\ I_m = 0{\cdot}636 I_m$$

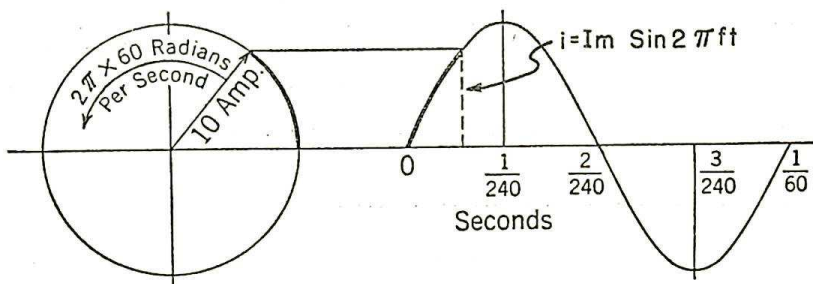
स) प्रभावी मान (*RMS* अथवा Effective Value) :

$$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}707\ I_m$$

अभ्यास 7-5 : 120 वोल्ट पर 0·25 अम्प० धारा लेते हुए एक दीप में शक्ति प्रवाह को रेखांकित कीजिये। यदि धारा की वारंवारता 25 चक्र प्र० से० हो तो शक्ति स्पंदों (Power Pulses) की वारंवारता क्या होगी ?

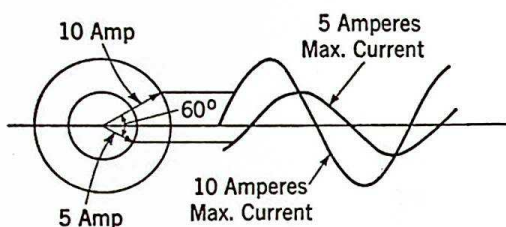
अर्धव्यास दिष्ट (Radius-vector) **अथवा ज्या तरंगों को निरूपित करने वाली फ़ेज़र विधि :** यद्यपि ज्यावर्ती वक्र द्वारा, ज्यावर्ती राशियों के काल विचरण को संतोषजनक रूप से, निरूपित किया जा सकता है ; तथापि वक्र का अंकन कठिन होने के कारण, यह विधि, असुविधाजनक है। जब तीन या चार से अधिक वक्र, एक ही रेखाचित्र पर खींचे जायँ, तो वक्र वहुत ही सांभ्रमिक हो जाते हैं। इसलिये ज्यावर्ती विचरण-कारी राशि को, साधारणतया, एक परिभ्रमणशील अर्धव्यास दिष्ट द्वारा निरूपित किया जाता है।

चित्र 7-4 : **एक परिभ्रमणशील अर्धव्यास दिष्ट, एक ज्यावर्ती तरङ्ग उत्पन्न करने के लिये प्रयोग किया जा सकता है**

चित्र 7-4 की *Or* रेखा, एकक लम्बाई की रेखा है जो एकसम-कोणिक-प्रवेग (Uniform Angular Velocity) से परिभ्रमण कर रही है। रेखाचित्र के दाहिने भाग में, रेडियन में कोणिक माप भुज पर अंकित किया गया

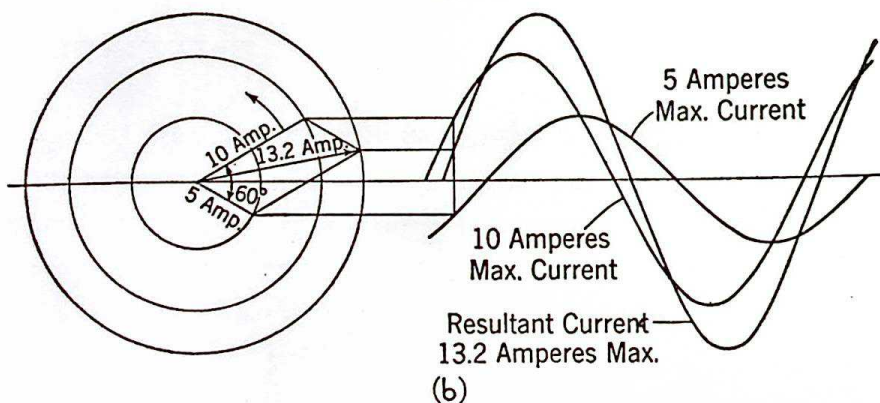
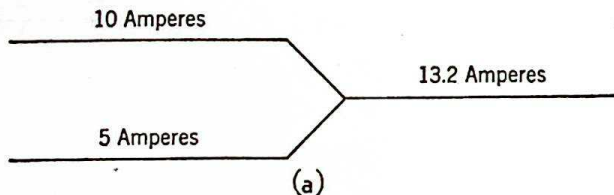
है ; जब कि प्रत्येक तत्सम्बन्धी स्थिति के लिये, परिभ्रमणशील रेखा का ऊर्ध्वाधर प्रक्षेप (Vertical Projection) कोटि पर अंकित किया गया है। इस प्रकार, यह परिभ्रमणशील रेखा जो अर्धव्यास दिष्ट अथवा फ़ेज़र कहलाती है, एक ज्या तरंग जनित करती कही जा सकती है। इस प्रकार इसे, ज्यावर्ती विचरणशील राशियों के रूढ़िवादी निरूपण (Conventional Representation) के लिये प्रयोग किया जा सकता है।

चित्र 7-5 : **एक परिभ्रमणशील अर्धव्यास दिष्ट, तथा एक ज्या तरंग 60 चक्रीय प्रत्यावर्ती धारा वहन करते हुए एक संवाहक में धारा का विचरण देशित कर रहे हैं**

चित्र 7-5. में फ़ेज़र की लम्बाई, 10 अम्प०. के अनुमाप को निरूपित करती है ; और यह फ़ेज़र $2\pi \times 60$ रेडियन प्रति सेकंड के कोणिक प्रवेग से परिभ्रमण करता है। यह कोणिक प्रवेग (जो सामान्यत: w कहलाता है) $2\pi f$ के बराबर होता है, तथा इस दशा में 60 चक्र प्रति सेकंड वारंवारता की एक ज्यावर्ती तरंग उत्पन्न करता है। ज्यावर्ती विचरणशील प्रत्यावर्ती धाराओं तथा वोल्टताओं को, फ़ेज़र द्वारा अति सरलता पूर्वक निरूपित किया जा सकता है। इसलिये यह फ़ेज़र विधि, इस कार्य के लिये लगभग अनिवार्य रूप में प्रयोग की जाती है।

प्रत्यावर्ती धाराओं तथा वोल्टताओं का प्रावस्था अन्तर (Phase Difference of Alternating Currents and Voltages) : जब प्रत्यावर्ती राशियाँ साथ ही साथ शून्य में से पारण करती हैं तथा साथ ही साथ अपने अधिकतम मान पर भी पहुँचती हैं, जैसे चित्र 7-2 में धारा तथा वोल्टता, तब इन राशियों को **प्रावस्था में** (In Phase) कहा जाता है। जब प्रत्यावर्ती धारा तथा वोल्टता **प्रावस्था में नहीं** होतीं, तो उस राशि को जो अपने अधिकतम मान पर पहले पहुँचती है दूसरी राशि के **अग्रित** (Leading) कहा जाता है; तथा दूसरी राशि को (जो अपने अधिकतम मान पर बाद में पहुँचती है) पहली राशि के **अनुगामी** (Lagging) कहा जाता है। उदाहरण के लिये, यदि दो तार, विभिन्न धारायें वहन कर रहे हों, जिनमें से एक का अधिकतम मान 10 अम्प० हो और दूसरी का 5 अम्प० ; तथा वह पहली से 60° पीछे रहती

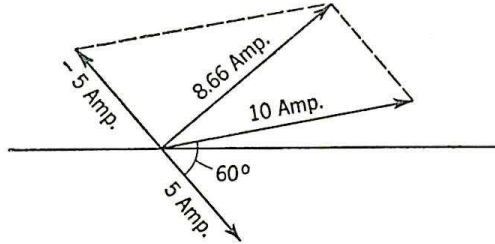
हो, तो वे रेखाचित्र 7-6 के द्वारा निरूपित की जा सकती हैं। इस चित्र में, प्रत्येक तार में धारा को उसकी व्यक्तिगत ज्या तरंग तथा फ़ेज़र से निरूपित किया गया है। चूँकि रेखाचित्र के ज्या तरंग प्रभाग में, ज्या तरंगों की अवधि बराबर ही है, इसलिये वे एक दूसरे से वही सम्वन्ध बनाये रखेंगी। इसी प्रकार, फ़ेज़रों के कोणिक परिभ्रमण समान होने के कारण, फ़ेज़र भी एक दूसरे से एकसम सम्वन्ध बनाये रखेंगे।

चित्र 7-6 : **प्रावस्था विलगित प्रत्यावर्ती धारायें**

प्रत्यावर्ती धारा तथा वोल्टताओं का योग

मान लीजिये कि दोनों तार जो क्रमशः 10 अम्प० और 5 अम्प० वहन कर रहे हैं, जोड़ दिये जाते हैं जैसे चित्र 7-7 (*a*) में दिखाये गये हैं। अब यद्यपि प्रत्येक में धारा पहले जितनी ही रहती है, तथापि युजित तार में धाराओं का योग हो जाता है। इस युजित तार में धारा का मान प्रत्येक क्षण पर, दोनों तारों की धाराओं के मान के योग के बराबर होता है।

चित्र 7-7 : **प्रत्यावर्ती धाराओं का योग**

इसे चित्र 7-7 (*b*) के ज्या तरंग रेखाचित्र में परिणामी (Resultant) धारा के रूप में दिखाया गया है, जो स्वयं भी एक ज्या तरंग है और जिसका अधिकतम मान 13·2 अम्प० है। रेखाचित्र के फ़ेज़र प्रभाग में यदि एक

समानान्तर चतुर्भुज पूरा कर उसका विकर्ण (Diagonal) खींचा जाय तो यह भी 13·2 अम्प० के बराबर होगा, जो परिणामी धारा का अधिकतम मान है। इसके अतिरिक्त फ़ेज़र भी ऊर्ध्वाधिर अवस्था में उसी समय पहुँचेगा, जिस समय परिणामी धारा अपने अधिकतम मान पर पहुँचती है, जैसा ज्या तरंगों के तात्क्षणिक योग द्वारा दिखाया गया है।

इस प्रकार ज्या तरंग राशियाँ किसी भी क्षण पर बीजीय विधि से (Algebraically) जोड़ी जा सकती है; अथवा यदि वह फ़ेज़र द्वारा निरूपित हों, तो उनका योग दिष्ट योग (Vector Addition) ही होना चाहिये। जब इन ज्या राशियों को घटाना हो, तो वह भी ज्या तरंगों के तात्क्षणिक बीजीय-वियोजन (Instantaneous Algebraic Subtraction) के आधार पर किया जा सकता है अथवा एक फ़ेज़र दूसरे में से घटाया जा सकता है। एक फ़ेज़र को घटाने के लिये उसे उल्टा कर दिया जाता है और फिर दिष्ट विधि (Vectorially) से जोड़ दिया जाता है। यह विधि, चित्र 7-8 में दिखाई गई है, जिसमें वही 10 अम्प० तथा 5 अम्प० के फ़ेज़र दिखाये गये हैं, परन्तु 10 अम्प० के फ़ेज़र में से 5 अम्प० का फ़ेज़र घटाया गया है। इस दशा में परिणामी दिष्ट का मान 8·66 अम्प० है और यह 10 अम्प० धारा से 30° प्रावस्था कोण (Phase Angle) अथवा $\frac{\pi}{6}$ रेडियन आगे है।

चित्र 7-8 : प्रत्यावर्ती धाराओं का दिष्ट वियोजन

अभ्यास 7-6 : एक तार में धारा की ज्या तरंग का रेखांकन कीजिये; जब कि वह दो शाखाओं में धाराओं के योग से बनी हो; जिनमें से एक में 25 अम्प० तथा दूसरे में 10 अम्प० धारा (पहली के 30° आगे) प्रवाहित हो रही है। वारंवारता 60 चक्र-प्रति सेकंड है।

फ़ेज़र विधियों का निर्वचन (Interpretation of Phasor Methods) : प्र० धा० राशियों को निरूपित करने के लिये, ज्या तरंग अथवा फ़ेज़र उपयोग किये जा सकते हैं। अध्ययन किये जाने वाले लक्षणों को, अधिक प्रभावी रूप से दिखाने के लिये कभी ज्या तरंग और कभी फ़ेज़र अधिक सहज होता है। आगे, केवल वही विधि प्रयोग की जायेगी जो अधिक प्रभावी होगी; और एक समस्या के लिये केवल कभी-कभी ही, दोनों निरूपण प्रयोग किये जायेंगे। धारा तथा वोल्टता का प्रावस्था सम्बन्ध और परिमाण दिखाने के लिये दोनों ही प्रकार के रेखाचित्र उपयोगी होते हैं। इन रेखाचित्रों में

सामान्यतः, वोल्टताओं के लिये एक अनुमाप तथा, धाराओं के लिये विभिन्न अनुमाप प्रयोग किये जाते हैं।

अब तक फ़ेज़र से साधारणतया धारा अथवा वोल्टता का अधिकतम मान निरूपित किया जाता रहा है। सभी ज्या तरंगों में प्रभावी तथा अधिकतम मान का अनुपात स्थिर रहता है, इसलिये फ़ेज़र द्वारा प्रभावी को निरूपित करना ही व्यवहारिक है। जब तक कोई भी फ़ेज़र रेखाचित्र, या तो प्रभावी मान को ही निरूपित करता हो और या अधिकतम मान को ही, तब तक कोई कठिनाई अनुभव नहीं होगी।

ज्या तरंगों में धारा के परिवर्तन की गति

प्र० धा० परिपथों के मुख्य लक्षण, केवल धारा के परिमाण पर ही निर्भर नहीं करते, वरन् उस गति पर भी निर्भर करते हैं, जिसके अनुसार धारा घट या बढ़ रही हो। गणितानुसार व्यक्त करते हुए, धारा परिवर्तन की गति, तात्क्षणिक धारा का अवकल (Derivative) है, और यदि तात्क्षणिक धारा

$$i = I_{max} \sin 2\pi ft,$$

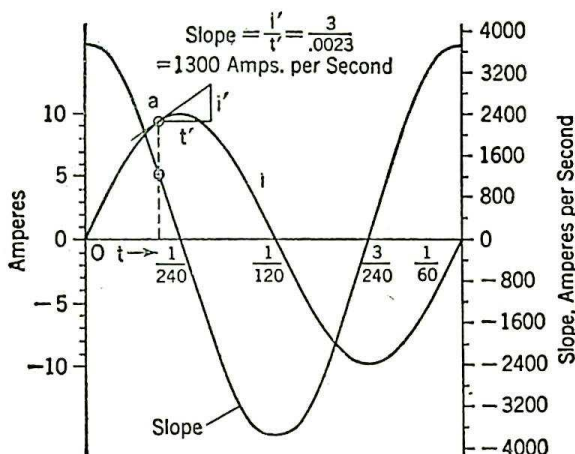
तो, धारा के परिवर्तन की गति $= \frac{di}{dt} = I_{max} (2\pi f) \cos (2\pi ft)$

यदि धारा का अधिकतम मान 10 अम्प० है और वारंवारता 50 चक्र प्रति सेकंड है तो,

धारा के परिवर्तन की गति $= \frac{di}{dt} = 10 \times 2\pi \times 50 \cos (2\pi \times 50 \times t)$

$= 3142 \cos 314t$ अम्प० प्र० से०

यह विना कलन (Calculas) का उपयोग किये भी, इस प्रकार दिखाया जा सकता है। ज्या तरंग में ऊर्ध्वाधर (Vertical) परिवर्तन, धारा में परिवर्तन को निरूपित करता है; और क्षैतिज (Horizontal) परिवर्तन, समय में परिवर्तन को निरूपित करता है। इसलिये धारा परिवर्तन को तत्सम्बन्धी समय परिवर्तन से भाग देने पर, परिभाषा के अनुसार धारा में परिवर्तन की गति प्राप्त हो जाती है। यह अनुपात ज्या तरंग का ढलान अथवा प्रवणता (Steepness) भी है। चित्र 7-9 में वही 10 अम्प० अधिकतम मान की धारा दिखाई गई है, जिसका पहले अध्ययन किया जा चुका है। a बिन्दु पर, एक स्पर्शी रेखा (Tangent) खींची जाती है और अम्पि० में i' को t' (सेकंड में) से भाग देने पर ढलान निकाला जा सकता है। यदि यह विधि, धारा वक्र के बहुत से बिन्दुओं के लिये दुहराई जाय, और परिणामों को तत्सम्बन्धी काल के विरुद्ध अंकित किया जाय तो प्रवणता का वक्र प्राप्त हो जायगा। यह वक्र भी 90° हटा हुआ एक ज्या वक्र ही होगा। यह अवलोकित होगा, कि

इसका अधिकतम मान उस समय होता है जब धारा शून्य मान से पारण करती है। इसका तात्पर्य यह है कि यह भी एक ज्या तरंग है जो धारा तरंग के 90° अथवा π/2 रेडियन काल प्रावस्था कोण (Time-Phase Angle) द्वारा अग्रित है। धारा के परिवर्तन की गति के वक्र का अधिकतम मान, धारा वक्र के अधिकतम

चित्र 7-9 : **प्रत्यावर्ती धारा में धारा परिवर्तन की गति**

मान का $2\pi f$ गुना है (जहाँ f वारंवारता है)। यह अधिकतम मान इस तथ्य द्वारा स्पष्ट किया जा सकता है ; कि शून्य मान से पारण करते समय धारा के परिवर्तन की गति, पूरे प्रवेग से परिभ्रमण करते हुए अर्धव्यास दिष्ट के अंत-चिह्न (Terminus) द्वारा निरूपित की जाती है। इसका कोणिक प्रवेग $2\pi f$ रेडियन है (अर्थात् प्रति सेकंड f पूर्ण परिक्रमण)। इसलिये इसका प्रवेग अथवा परिवर्तन की गति उसकी लम्बाई का $2\pi f$ गुना होगी। (उसकी लम्बाई धारा के अधिकतम मान के बराबर है)।

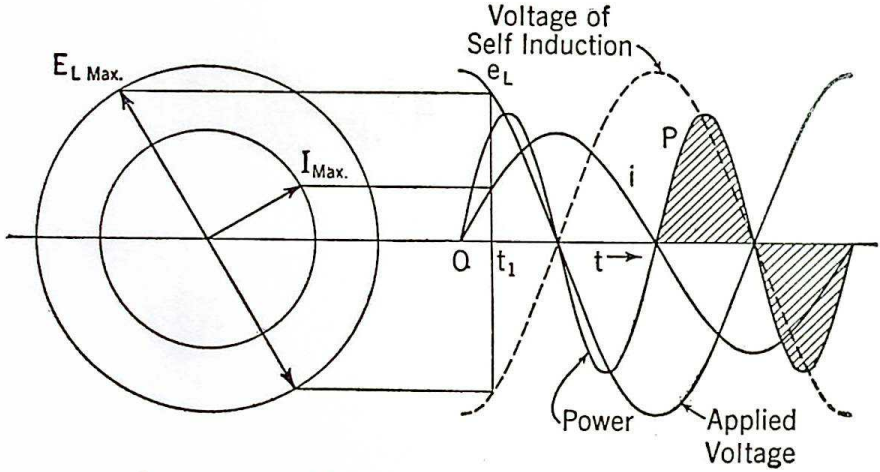
दोनों विधियाँ यह देशित करती है, कि धारा के परिवर्तन की गति भी एक ज्यावर्ती तरंग है, जिसका अधिकतम परिमाण धारा के अधिकतम मान का $2\pi f$ गुना है। यह सम्बन्ध महत्वपूर्ण है चूँकि यह प्र० धा० परिपथों की प्रतिकारिता (Reactance) निकालने का आधार है।

प्ररोचि प्रतिकारिता (Inductive Reactance)

जब प्रत्यावर्ती धारा एक प्ररोचिता कुंडल (Inductance Coil) में से प्रवाहित होती है, तब कुंडल में धारा तथा उसके आर-पार वोल्टता प्रावस्था में नहीं रहती। मान लिया जाय, कि किसी प्ररोचिता कुंडल में एक प्रत्यावर्ती धारा प्रवाहित हो रही है, जो चित्र 7-10 के ज्या तरंग एवं फ़ेज़र रेखाचित्र द्वारा

निरूपित की गई है। यदि कुंडल की प्रोचिता L हेनरी है तो स्वयं प्रोचन की वोल्टता (Voltage of Self Induction)* :

$$e = L\frac{di}{dt} = 2\pi f\,L\,I_{max}\cos\,(2\pi ft)$$

लेन्ज़ नियम (Lenz's Law) के अनुसार, इस वोल्टता की दिशा ऐसी होगी कि यह धारा में परिवर्तन का विरोध करे। इस प्रकार, जब धारा अधिकतम गति से बढ़ रही हो, तो स्वयं प्रोचन की वोल्टता अधिकतम ऋणात्मक मान की होगी ; जैसा चित्र 7-10 के बिन्दुकित वक्र द्वारा दिखाया गया है।

चित्र 7-10 : **प्रोचि परिपथ में धारा, वोल्टता तथा शक्ति**

प्रोचिता में एक प्रत्यावर्ती धारा को संधारण करने के लिये कुंडल के ऊपर एक वोल्टता आरोपित करना आवश्यक है, जो इस प्रतिकारी वोल्टता (Reactance Voltage) का निष्फलन कर सके और साथ ही साथ रोध पात (Resistance Drop) का भी अभिभवन कर सके। यदि रोधपात कम हो, जैसा कि अधिकतर दशाओं में होता है, तब आरोपित वोल्टता, लगभग प्रतिकारी वोल्टता के बराबर तथा विरुद्ध होगी। चित्र 7-10 के ज्या तरंग रेखाचित्र में आरोपित वोल्टता का वक्र ठोस रेखा द्वारा दिखाया गया है। क्योंकि यह वोल्टता वक्र, अपने अधिकतम मान पर धारा वक्र से 90° अथवा $\pi/2$ रेडियन पहले पहुँचता है ; इसलिये यह धारा तरंग के अग्रित कहा जाता है। अथवा **धारा तरंग, आरोपित वोल्टता से 90° पीछे या अनुगामी कही जाती है।** इस अधिकतम वोल्टता का वास्तविक परिमाण :

$$E_{L\,max} = (2\pi fL)\;I_{max}$$

* चौथे अध्याय का पृष्ठ 67 देखिये।

राशि $2\pi fL$, प्ररोचिता कुंडल तथा वारंवारता का एक लक्षण है और **कुंडल की प्ररोचि प्रतिकारिता** (Inductive Reactance) **कहलाती है।** यह सामान्यतः, चिह्न X_L से देशित की जाती है; और चूँकि यह वोल्टता तथा धारा का अनुपात है, इसलिये ओम में व्यक्त की जाती है। धारा तथा वोल्टता के प्रभावी मान का अनुपात भी वही होगा जो कि उनके अधिकतम मान का। इसलिये इस सम्बन्ध को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$E_{L\,max} = X_L \cdot I_{max}$$

अथवा
$$E = X_L \cdot I$$

$$\therefore \quad I = \frac{E}{X_L}$$

उदाहरण : नगण्य रोध तथा 15 मिलि हेनरी की प्ररोचिता वाले एक कुंडल को 120 वो० 60 चक्रीय प्रभव से युज़ित किया गया है। प्रवाहित धारा निकालिये तथा दिष्ट रेखाचित्र (Vector Diagram) खींचिये।

समाधान : 1. प्रतिकारिता निकालिये।

कुंडल की प्रतिकारिता $X_L = 2\pi fL$

$$= 2\pi \times 60 \times 0{\cdot}015 = 5{\cdot}65 \text{ ओम़}$$

2. धारा निकालिये। (यह मान लिया जाता है, कि 120 वो० प्रभावी मान है)

$$I = \frac{E}{X_L} = \frac{120}{5{\cdot}65} = 21{\cdot}3 \text{ अम्प०}$$

E = 120 Volts

I = 21.3 Amps.

चित्र 7-11 : **प्ररोचि परिपथ में धारा तथा वोल्टता**

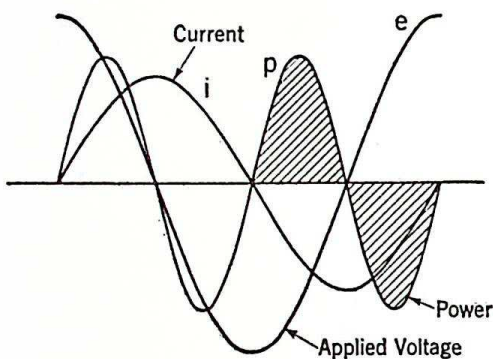
3. फ़ेज़र रेखाचित्र खींचिये : मान लीजिये कि कुंडल पर आरोपिता वोल्टता $E = 120$ वो० प्रेष्टि वोल्टता (Reference Voltage) है। तब प्रवाहित धारा $I = 2{\cdot}13$ अम्प०। यह वोल्टता के 90° अनुगामी है और वोल्टता फ़ेज़र से भिन्न अनुमाप पर खींची जाती है।

चूँकि प्ररोचि प्रतिकारिता, वारंवारता की समानुपाती होती है; इस कारण इसका मान उच्च वारंवारताओं पर काफ़ी अधिक हो जाता है। इसलिये उच्च वारंवारताओं पर, धारा का मान सीमित करने के लिये प्ररोचिता कुंडल, प्रयोग किये जाते हैं। जब प्ररोचिता कुंडल का उपयोग इस प्रकार किया जाता है तो उन्हें **प्रतिबन्धी कुंडल** (Choke-Coil) कहते हैं, क्योंकि यह उच्च वारंवारताओं पर धारा को प्रतिबन्धित करते हैं।

अभ्यास 7-7 : 50 मि० हे० की प्ररोचिता में प्रवाहित धारा निकालिये जब कि 400 चक्र प्रति सेकंड की वारंवारता पर, 75 वो० की वोल्टता, उस पर आरोपित की जाय। फ़ेज़र रेखाचित्र भी खींचिये।

प्ररोचिता कुंडल में शक्ति (Power in an Inductance Coil)

परिपथ में किसी क्षण पर, प्रवाहित शक्ति, धारा तथा वोल्टता के गुणन के बराबर होती है। इसे चित्र 7-12 में अंकित किया गया है और यह दुगनी वारंवारता की एक ज्या तरंग है। गणितानुसार इसे इस प्रकार विकसित किया जा सकता है: तात्क्षणिक शक्ति,

$$p = ei = E_{max} \cos(2\pi ft) \cdot I_{max} \sin(2\pi ft)$$
$$= E_{max} I_{max} \sin 2\pi ft, \cos 2\pi ft.$$

चित्र 7-12 : **प्ररोचि परिपथ में धारा, वोल्टता तथा शक्ति**

चूँकि

$$\sin X \cos X = \tfrac{1}{2} \sin 2X.$$

$$\therefore p = \frac{E_{max} I_{max}}{2} \sin 4\pi ft,$$

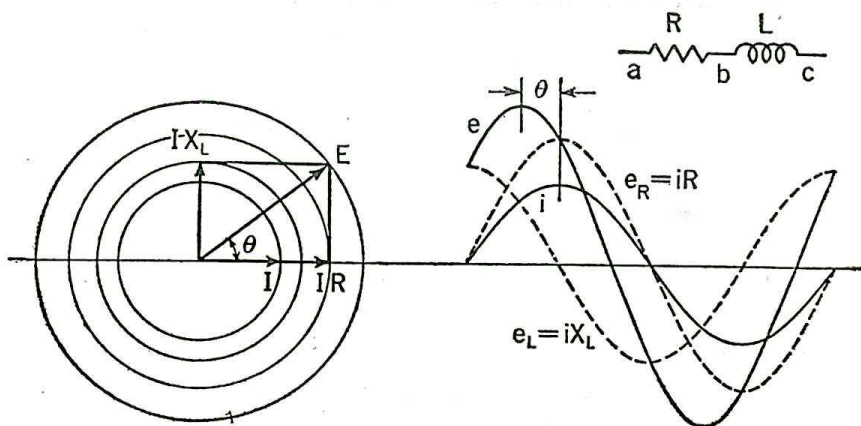
प्रभावी मान का प्रयोग कर

$$p = EI \sin 4\pi ft.$$

यदि तात्क्षणिक शक्ति का एक पूर्ण चक्र पर औसत किया जाय तो वह शून्य पाया जायगा। निस्संदेह, यहाँ यह कल्पना कर ली गई है कि रोध नगण्य है। औसत शक्ति के शून्य होने का भौतिक निर्वचन, इस प्रकार किया जा सकता है: उस काल में, जिसमें धारा बढ़ रही होती है, शक्ति प्रभव, कुंडल के चुम्बकीय क्षेत्र में ऊर्जा को संचित करता है, और रेखाचित्र में शक्ति की धनात्मक पाशी प्राप्त होती है। जब कुंडल में धारा घट रही होती है, तब ऊर्जा परिपथ को वापस दे दी जाती है। इस प्रकार रेखाचित्र में शक्ति की धनात्मक पाशी के ठीक बराबर एक ऋणात्मक पाशी प्राप्त होती है। चुम्बकीय क्षेत्र में ऊर्जा का यह संचय, (जो धारा प्रवाह को बनाये रखता है) यांत्रिकी के क्षेत्र में गतिज ऊर्जा के अनुरूप है।

माला में रोध एवं प्ररोचिता

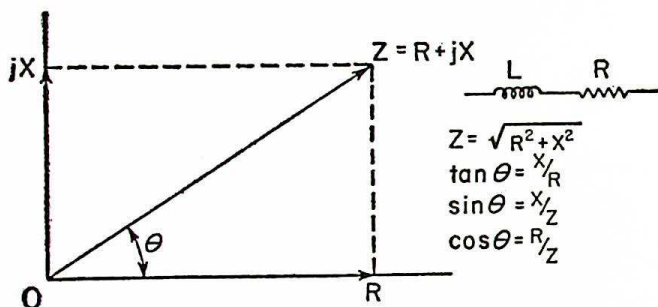
जब परिपथ में केवल रोध ही हो अथवा केवल प्ररोचिता ही, तब धारा तथा आरोपित वोल्टता का सम्बन्ध निश्चित किया जा चुका है। रोध के आर-पार वोल्टता, तात्क्षणिक धारा तथा रोध के गुणन के बराबर होती है। परन्तु, प्ररोचिता कुंडल के आर-पार वोल्टता एक ज्या तरंग होती है, जो धारा से काल प्रावस्था में 90° आगे होती है। यदि रोधक को किसी प्ररोचिता कुंडल के साथ माला में युजित कर दिया जाय, तो दोनों में धारा प्रवाह उतना ही होगा। रोधक के आर-पार वोल्टता धारा के साथ काल प्रावस्था में होगी और प्ररोचिता

कुंडल के आर-पार वोल्टता, धारा से 90° अग्रित होगी। यह चित्र 7-13 में दिखाया गया है, जिसमें ज्या तरंग i धारा है ; e_r रोध में वोल्टता पात तथा e_L प्ररोचिता कुंडल पर आरोपित वोल्टता है। रोध तथा प्ररोचिता, दोनों के संयोजन पर आरोपित वोल्टता e_r तथा e_L का तात्क्षणिक योग होगी जो e द्वारा दिखाई गई है। जैसा रेखाचित्र में दिखाया गया है, यह वोल्टता तरंग धारा से कोण θ अग्रित है। चित्र 7-13 के फ़ेज़र प्रभाग में भी वही सूचना प्राप्त होती है। इस प्रकार के निरूपण से यह स्पष्ट है, कि कोण θ (जिससे कि वोल्टता धारा के अग्रित है) वह कोण है जिसकी स्पर्श ज्या $\frac{X_L}{R}$ है।

चित्र 7-13 : **रोध तथा प्ररोचिता के माला में युजित होने पर प्रत्यावर्ती धारा तथा वोल्टता**

नोट :—किसी भी प्ररोचिता कुँडल के वर्तन में कुछ रोध अवश्य ही होता है। इसलिये किसी भी व्यावहारिक प्ररोचिता कुंडल में, रोध एवं प्रतिकारिता दोनों ही होंगी। इनको 7-13 में दिखाये गये के अनुसार निरूपित किया जा सकता है, जिसमें रोध एवं प्रतिकारिता दोनों माला में है। इस दशा में IR पात तथा IX_L पात अलग-अलग नापना असंभव हो जायगा। तथापि परिणामी वोल्टता का मापन तथा कोण θ का निकालना संभव है। कुंडल को या तो माला में एक रोध तथा प्ररोचिता द्वारा निरूपित किया जा सकता है, (जैसे ऊपर किया गया है) अथवा समानान्तर में युजित रोध एवं प्ररोचिता द्वारा। परन्तु माला में निरूपण ही अधिक सामान्य है, और इस पुस्तक में केवल वही प्रयोग किया जायगा।

अवबाधिता तथा प्रावस्था कोण (Impedance & Phase Angle)

चित्र 7-13 में रोध के आर-पार वोल्टता IR है, तथा प्ररोचिता के आर-पार IX_L। परन्तु ऐसी कोई एक राशि पर्यालोचित नहीं की गई है जिसको धारा से गुणा करने पर कुल आरोपित वोल्टता प्राप्त हो सके। यह वांछनीय है, कि ऐसी राशि अथवा परिपथ लक्षण संगणना के लिये उपलब्ध हो।

चित्र 7-14 में यह दिखाया गया है, कि ऐसी राशि किस प्रकार प्राप्त की जा सकती है। R को क्षैतिज अक्ष (Horizontal Axis) पर खींचा गया है, तथा X_L को ऊपर की ओर ऊर्ध्वाधर (Vertical) खींचा गया है। इन दोनों राशियों का दिष्ट योग (Vector Sum) एक नई राशि है, जिसे अवबाधिता कहते हैं। धारा को इस राशि से गुणा करने पर आरोपित वोल्टता प्राप्त होती है। इसी प्रकार, वोल्टता को अवबाधिता से भाग देने पर धारा प्राप्त की जा सकती है।

चित्र 7-14 : **अवबाधिता प्राप्त करने के लिये रोध एवं प्रतिकारिता का योग**

इस सरल परिपथ में, अवबाधिता का परिमाण :

$$Z=\sqrt{R^2+X^2},$$

तथा अधिक जटिल परिपथों में ;

$$Z=\sqrt{(\Sigma R)^2+(\Sigma X)^2}.$$

इससे केवल यह दर्शित होता है, कि बहुत से माला युजित परिपथ अंशकों की अवबाधिता सब रोधों के योग के वर्ग तथा सब प्रतिकारिताओं के योग के वर्ग के जोड़ के वर्गफल के बराबर होती है।

अवबाधिता का प्रावस्था कोण θ है, जिसकी स्पर्श ज्या (Tangent) X/R है। जब परिपथ में प्ररोचि प्रतिकारिता होती है, तो कोण θ धनात्मक होता है और वोल्टता धारा से अग्रित होती है। इस प्रकार अवबाधिता को एक विशेष प्रकार का गुणक कहा जा सकता है, जिससे धारा के परिमाण को गुणा करने पर, वोल्टता का परिमाण प्राप्त हो जाता है ; तथा जिसके कोण को धारा दिष्ट के कोण में जोड़ कर वोल्टता दिष्ट की दिशा प्राप्त की जा सकती है। इसी प्रकार जब वोल्टता को अवबाधिता से भाग दिया जाता है, तब उनका भजन-फल धारा का परिमाण होता है, और धारा दिष्ट की दिशा, वोल्टता दिष्ट की दिशा से अवबाधिता कोण घटा कर प्राप्त की जा सकती है।

ऐसा करने की वहुत सी विधियाँ हैं। अधिकांश प्रारम्भिक कार्यों के लिये धारा एवं वोल्टता का परिमाण, तथा उनका प्रावस्था सम्बन्ध ही निश्चित कर

लेना पर्याप्त होता है और विद्युत् इंजीनियरों द्वारा प्रयुक्त विशेष शब्दावली के विकासन की आवश्यकता नहीं होती।

उदाहरण : 50 ओम रोध तथा 10 मि० हे० की प्ररोचिता वाले कुंडल में 20 मि० अ० धारा प्रवाहित करने के लिये आवश्यक वोल्टता निकालिये। वारंवारता 2000 चक्र प्रति सेकंड है। वोल्टता धारा से किस कोण द्वारा अग्रित है ?

समाधान : 1. प्रतिकारिता निकालिये—

$X = 2\pi fL = 2\pi \times 2000 \times \frac{10}{1000} = 125$ ओम

2. अवबाधिता निकालिये—

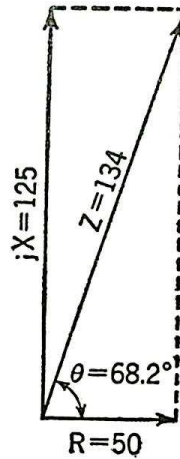
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(50)^2 + (125)^2}$$
$$= \sqrt{2500 + 15625}$$
$$= \sqrt{18125} = 134 \text{ ओम}$$

$$\tan\theta = \frac{X}{R} = \frac{125}{50} = 2\cdot5$$

$\therefore \theta = 68\cdot2^\circ$.

3. वोल्टता का परिमाण निकालिये—

$$E = IZ = 0\cdot02 \times 134 = 2\cdot68 \text{ वोल्ट}$$

इस प्रकार उपर्युक्त कुंडल में 20 मि० अ० की धारा प्रवाहित करने के लिये 2·68 वो० की प्र० धा० वोल्टता की आवश्यकता है। वोल्टता, धारा से 68·2° के प्रावस्था कोण द्वारा अग्रित होगी।

चित्र 7-15 : अवबाधिता रेखाचित्र

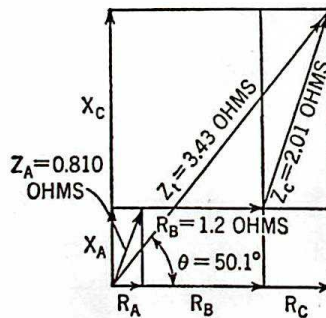
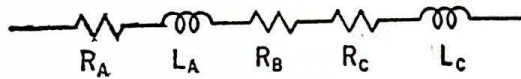
अभ्यास 7-8 : 20 मि० हे० के प्ररोचिता कुंडल में, 20 अम्प० की धारा प्रवाहित करने के लिये 50 चक्र वारंवारता की वोल्टता का मान निकालिये। कुंडल का रोध 4 ओम है। प्रावस्था कोण भी निकालिये।

अभ्यास 7-9 : एक 2000 चक्रीय वारंवारता का जनित्र, 5 मि० हे० प्ररोचिता तथा 25 ओम के रोध के एक कुंडल को 350 शक्ति प्रदाय करता है। उसमें कितनी धारा प्रवाहित होगी ? धारा, वोल्टता से किस कोण द्वारा अनुगामी होगी ?

अनेक अंशकों वाले परिपथ की अवबाधिता

किसी माला परिपथ में, वोल्टताओं का योग केवल दो अंशकों तक सीमित नहीं रहता, वरन् कितने ही अंशकों का हो सकता है। इस प्ररूप के परिपथों में, वोल्टतायें, तात्क्षणिक रूप में जोड़ी जाती हैं; जैसा चित्र 7-13 में दिखाया गया था। इनमें से सभी वोल्टता पातों (Voltage Drops) को दो भागों में

विभक्त किया जा सकता है : एक तो रोध के कारण, दूसरे प्रतिकारिता के कारण। इस प्रकार पूरे परिपथ की अवबाधिता, व्यक्तिगत भागों की अवबाधिताओं के दिष्ट योग द्वारा प्राप्त की जा सकती है। यह, या तो रेखाचित्रीय विधि से (Graphically); अथवा सभी रोध एवं सभी प्रतिकारिताओं को जोड़ कर, और फिर इनसे कुल अथवा सम (Equivalent) अवबाधिता निकाल कर किया जा सकता है।

उदाहरण : यदि कुंडल A, रोध B, तथा कुंडल C माला में युजित कर एक 220 वोल्ट की लाइन से युजित कर दिये जायँ, तो लाइन से ली गई धारा निकालिये, जब कि शक्ति प्रदाय की वारंवारता 60 चक्र प्रति सेकंड है। कुंडल A का रोध 0·3 ओम तथा प्ररोचिता 2 मि० हे० है। रोध B का परिमाण 1·2 ओम है, और कुंडल C का रोध 0·7 ओम तथा प्ररोचिता 5 मि० हे० है।

चित्र 7-16 : **उदाहरण के लिये अवबाधिता रेखाचित्र**

समाधान : 1. कुंडलों की प्रतिकारिता निकालिये—

कुंडल A ; $X_A = 2\pi f L_1 = 2\pi \times 60 \times 0{\cdot}002 = 0{\cdot}754$ ओम

कुंडल C ; $Xc = 2\pi f L_2 = 2\pi \times 60 \times 0{\cdot}005 = 1{\cdot}88$ ओम

2. कुल अवबाधिता निकालिये—

$$X = X_A + X_C = 2{\cdot}63 \text{ ओम}$$

$$R = R_A + R_B + R_C = 0{\cdot}3 + 1{\cdot}2 + 0{\cdot}7 = 2{\cdot}2 \text{ ओम}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(2{\cdot}2)^2 + (2{\cdot}63)^2} = \sqrt{4.84 + 6.92}$$

$$= \sqrt{11{\cdot}76} = 3{\cdot}43 \text{ ओम}$$

3. धारा तथा प्रावस्था कोण निकालिये—

$$I=\frac{E}{Z}=\frac{220}{3\cdot43}=64\cdot2 \text{ अम्प०}$$

$$\tan\ \theta=\frac{X}{}=\frac{2\cdot63}{2\cdot2}=1\cdot19 \text{ अम्प०}$$

$$\theta=50\cdot1^\circ$$

अभ्यास 7-10 : एक 10,000 ओम का रोध, एक प्ररोचिता कुंडल के साथ माला में युजित है। कुंडल का रोध 2000 ओम है तथा प्ररोचिता 10 मि० हे०। इनको एक 75 वो० 150 किलो चक्रीय वारंवारता की लाइन से युजित कर दिया जाता है। धारा तथा प्रावस्था कोण निकालिये।

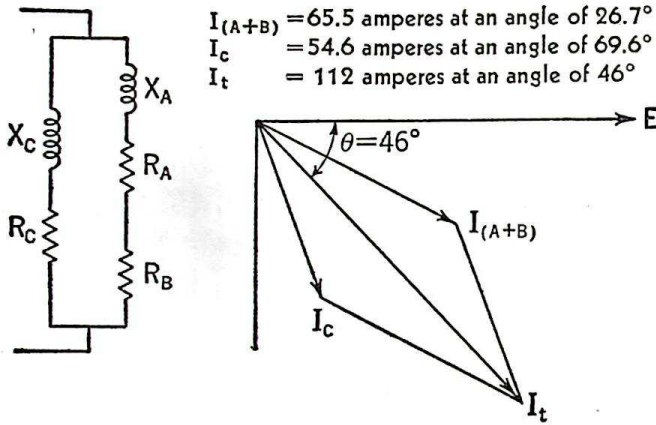
अभ्यास 7-11 : दो कुंडल तथा एक रोधक मालावद्ध कर एक 220 वोल्ट 50 चक्रीय, लाइन से युजित कर दिये जाते हैं। कुंडल A का रोध 3 ओम तथा प्ररोचिता 15 मि० हे० है। कुंडल B का रोध 7 ओम तथा प्ररोचिता 5 मि० हे० है। रोधक C का रोध 2 ओम है। धारा तथा सम अववाधिता निकालिये।

समानान्तर में रोध एवं प्ररोचिता

जव प्र० धा० परिपथ समानान्तर में युजित होते हैं, तो इनके लिये भी वही सामान्य प्ररूप का समाधान प्रयोग किया जाता है, जो कि समानान्तर में युजित रोधों के लिये उपयुक्त होता है। समानान्तर परिपथ के प्रत्येक भाग में प्रवाहित धारा मालूम कर ली जाती है। कुल धारा, व्यक्तिगत भागों की धाराओं का योग होती है। साधारणतया, धारायें प्रावस्था में नहीं होती। इसलिये उनको निरूपित करने वाले फ़ेज़रों का योग सापेक्ष प्रावस्था सम्बन्धों का ध्यान रख कर करना चाहिये।

वोल्टता को धारा से भाग देकर सम अवबाधिता (Equivalent Impedance) निकाली जा सकती है। अवबाधिता का प्रावस्था कोण, कुल धारा के फ़ेज़र तथा वोल्टता फ़ेज़र के बीच के कोण द्वारा निश्चित होता है। सम रोध, अववाधिता तथा उस कोण की कोज्या (Cosine) के गुणन के बराबर होता है। सम प्रतिकारिता, अववाधिता तथा उस कोण की ज्या के गुणन के बराबर होती है।

उदाहरण : यदि पिछले उदाहरण का कुंडल C चित्र 7-17 में दिखाये गये परिपथ रेखाचित्र के अनुसार कुंडल A तथा रोध B से बने हुए माला परिपथ से समानान्तर में युजित हो तो प्रवाहित धारा, उसका प्रावस्था कोण तथा सम अववाधिता निकालिये। लाइन वोल्टता 110 वोल्ट है, तथा वारंवारता 60 चक्र।

समाधान : 1. कुंडल A तथा रोध B में धारा निकालिये (पिछले उदाहरण में प्राप्त किये गये मान का प्रयोग कर)—

चित्र 7-17 : **उदाहरण के लिये फ़ेज़र रेखाचित्र**

$$Z_{A+B}=\sqrt{(R_A+R_B)^2+X_A^2}=\sqrt{1\cdot5^2+0\cdot754^2}$$
$$=\sqrt{2\cdot25+0\cdot57}=\sqrt{2\cdot82}=1\cdot68 \text{ ओम}$$

$$\tan\theta_{A+B}=\frac{X}{R}=\frac{0\cdot754}{1\cdot5}=0\cdot503$$

$$\therefore\ \theta_{A+B}=26\cdot7^\circ.$$

$$I_{A+B}=\frac{E}{Z}=\frac{110}{1\cdot68}=65\cdot5 \text{ अम्प॰}$$

और जो वोल्टता से 26·7° अनुगामी है।

2. कुंडल C में रोध निकालिये—

$$Z_C=\sqrt{R_C^2+X_C^2}=\sqrt{(0\cdot7)^2+(1\cdot88)^2}$$
$$=\sqrt{0\cdot49+3\cdot54}=\sqrt{4\cdot03}=2\cdot01 \text{ ओम}$$

$$\tan\theta_C=\frac{1\cdot88}{0\cdot7}=2\cdot68$$

$$\therefore\ \theta_C=69\cdot6^\circ$$

$$I_C=\frac{110}{2\cdot01}=54\cdot6 \text{ अम्प॰}$$

जो वोल्टता से 69·6° अनुगामी है।

3. व्यक्तिगत धाराओं को जोड़कर कुल धारा निकालिये।

[रेखाचित्रीय विधि से]

$I_{A+B}=65\cdot4$ अम्प॰ 26·7° के कोण पर

$I_C=54.6$ अम्प॰ 69·6° के कोण पर

$I_t=112$ अम्प॰ 46° के कोण पर

[विश्लेषण विधि से]

4. वोल्टता से प्रावस्था में धाराओं के प्रभाग निकालिये।

$I_{A+B} \cos \theta_{A+B} = 65{\cdot}4 \cos 26{\cdot}7^\circ = 65{\cdot}5 \times 0{\cdot}893 = 58{\cdot}5$ अम्प०.

$I_C \cos \theta_C = 54{\cdot}6 \cos 69{\cdot}6^\circ = 54{\cdot}6 \times 0{\cdot}349 = 19$ अम्प०.

I प्रावस्था में $= 58{\cdot}5 + 19 = 77{\cdot}5$ अम्प०

5. फिर, वोल्टता से 90° अनुगामी धाराओं के प्रभाग निकालिये।

$I_{A+B} \sin \theta_{A+B} = 65{\cdot}5 \sin 26{\cdot}7^\circ = 65{\cdot}5 \times 0{\cdot}45 = 29{\cdot}4$ अम्प०.

$I_C \sin \theta_C = 54{\cdot}6 \sin 69{\cdot}6^\circ = 54{\cdot}6 \times 0{\cdot}938 = 51{\cdot}3$ अम्प०

I_{90° अनुगामी $= 29{\cdot}4 + 51{\cdot}3 = 80{\cdot}7$ अम्प०

6. दोनों धाराओं से कुल धारा प्रवाह निकालिये।

$$I_t = \sqrt{I^2 \text{ प्रावस्था में} + I^2_{90^\circ} \text{ अनुगामी}}$$
$$= \sqrt{(77{\cdot}5)^2 + (80{\cdot}7)^2} = \sqrt{6006 + 6510}$$
$$= \sqrt{12516} \qquad = 111{\cdot}9 \text{ अम्प०}$$

$$\tan \theta_t = \frac{I_{90^\circ} \text{ अनुगामी}}{I \text{ प्रावस्था में}} = \frac{80{\cdot}7}{77{\cdot}5} = 1{\cdot}04$$

$$\therefore \theta_t = 46{\cdot}2^\circ$$

7. सम अवबाधिता निकालिये।

$$Z_{eq} = \frac{E}{I_t} = \frac{110}{111{\cdot}9} = 0{\cdot}984 \text{ ओम}$$

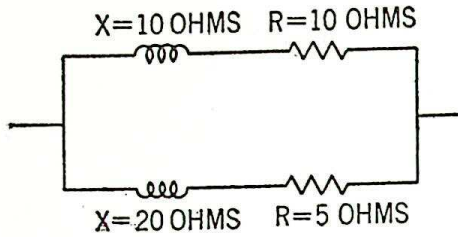
$$R_{eq} = Z \cos \theta = 0{\cdot}984 \cos 46{\cdot}2^\circ$$
$$= 0{\cdot}984 \times 0{\cdot}692 = 0{\cdot}682 \text{ ओम}$$

$$X_{eq} = Z \sin \theta = 0{\cdot}984 \times \sin 46{\cdot}2^\circ$$
$$= 0{\cdot}984 \times 0{\cdot}722 = 0{\cdot}711 \text{ ओम}$$

नोट—रेखाचित्रीय विधि से, कुल धारा इस प्रकार भी प्राप्त की जा सकती है :—वोल्टता से प्रावस्था में तथा उससे 90° अनुगामी धाराओं के प्रभाग निकालिये; और फिर इनको जोड़कर कुल धारा के प्रावस्था वाले तथा 90° अनुगामी प्रभाग निकालिये। फिर इनसे, दिष्ट योग द्वारा, कुल धारा प्राप्त की जा सकती है।

अभ्यास 7-12 : चित्र 7-18 में दिखाये गये परिपथ की सम अवबाधिता निकालिये।

अभ्यास 7-13 : 100 ओम का एक रोधक, एक प्ररोचिता कुंडल से समानान्तर में युजित है। कुंडल की प्ररोचिता 25 मि० हे० है तथा रोध 20 ओम है। 1000 चक्र की वारंवारता पर यदि 40 वोल्ट आरोपित किये जायँ तो कुल कितनी धारा प्रवाहित होगी ?

अभ्यास 7-14 : 120,000 चक्र, 20 वोल्ट के प्रभव के आर-पार तीन परिपथ युजित किये गये हैं। परिपथ A में 20,000 ओम का एक रोधक है।

चित्र 7-18 : अभ्यास 7-12 का परिपथ रेखाचित्र

परिपथ B में एक 5 मि० हे० की प्ररोचिता तथा 100 ओम के रोध का एक कुंडल है। परिपथ C में, 1·2 मि० हे० की प्ररोचिता तथा 50 ओम के रोध का एक कुंडल है। कुल प्रवाहित धारा तथा सम अववाधिता निकालिये।

शक्ति तथा शक्ति खंड (Power and Power Factor)

यह दिखाया जा चुका है, कि नगण्य रोध वाले प्ररोचिता कुंडल द्वारा अवशोषित हुई औसत शक्ति शून्य होती है। परन्तु अधिकांश कुंडलों का रोध नगण्य न होने के कारण, कुछ शक्ति अवश्य ही अवशोषित होती है। इस शक्ति की मात्रा :

$$P_{av}=I^2R$$

दूसरे शब्दों में, केवल उतनी ही ऊर्जा प्ररोचिता कुंडल को प्रदाय की जाती है, (और दूसरे चौथाई चक्र में परिपथ को नहीं लौटाई जाती) जितनी कि वर्तन के रोध द्वारा ऊष्मा में परिवर्तित हो जाती है।

चूंकि IR वोल्टता का वह संघटक है जो धारा के साथ प्रावस्था में होता है (जैसा चित्र 7-13 में दिखाया गया है), इसलिये इसको इस प्रकार निर्धारित किया जा सकता है।

$$IR=E\cos\theta \qquad \text{जहाँ } \cos\theta=\frac{R}{Z}$$

इस सम्बन्ध का उपयोग करते हुए, धारा, वोल्टता तथा उनके बीच के कोण के ज्ञान से औसत शक्ति मालूम की जा सकती है। इसको इस प्रकार दिखाया जा सकता है :

$$Pav=I^2R=(IR).\,I.=EI\cos\theta \text{ वाट}$$

अ० धा० परिपथों में, तथा केवल रोध वाले प्र० धा० परिपथों में भी, औसत शक्ति EI के बराबर होती है। वह खण्ड जिससे EI को गुणा करके औसत शक्ति प्राप्त की जाती है, शक्ति खण्ड (Power Factor) कहलाता है। जैसा ऊपर देखा गया है, यह $\cos\theta$ के बराबर होता है ; जहाँ θ धारा तथा वोल्टता के फ़ेज़रों के बीच का कोण है। यह कोण बहुधा शक्ति खण्ड कोण भी कहलाता है।

धारा तथा वोल्टता के गुणन ($E \times I$) को आभासी शक्ति (Apparent Power) कहते हैं। चूँकि यह वास्तविक शक्ति का मापन नहीं करती, इसलिये इसकी इकाई 'वाट' न होकर वोल्ट अम्पीयर होती है। अधिकांश प्र० धा० मशीनें एक निर्धारित वोल्टता पर प्रवर्तन करने के लिये बनाई जाती हैं, और सुरक्षित धारा, धारा के तापन प्रभाव के कारण सीमित होती है। इसलिये मशीनों की क्षमता, बहुधा वोल्ट अम्पीयर में निर्धारित की जाती है।

शक्ति खण्ड को प्रतिशत में भी व्यक्त किया जा सकता है। इस प्रकार 50% का शक्ति खण्ड वास्तव में 0·5 है। यदि शक्ति खण्ड ऊँचा हो तो विद्युत् कम्पनियाँ उसी सज्जा से अधिक शक्ति प्रदाय कर सकती हैं। इसलिये कभी-कभी उनकी दरें (Rates) इस प्रकार लगाई जाती हैं, कि कम शक्ति खण्ड की अपेक्षा, अधिक शक्ति खण्ड पर ऊर्जा का मूल्य कम होता है।

अभ्यास 7-15 : एक संधान परिवर्तित्र (Welding Transformer) एक शक्ति लाइन से 20 अम्प० धारा लेता है। वोल्टता 220 वोल्ट है, और वाटमीटर 3·0 *kw* देशित करता है। शक्ति खण्ड निकालिये।

अभ्यास 7-16 : एक थियेटर में, बत्तियों के धारा प्रवाह का नियंत्रण करने के लिये एक विचरणशील प्रतिकारिता का प्ररचन किया गया है। यदि बत्तियों का रोध 10 ओम हो ; और उनसे माला में युजित प्ररोचिता कुंडल की प्रतिकारिता 20 ओम तथा रोध 2 ओम हो, तो शक्ति खण्ड निकालिये। 120 वोल्ट आरोपित करने पर बत्तियों के आर-पार वोल्टता निकालिये।

विद्युत् धारित्र (Electric Capacitor)

जब दो संवाहक पट्टिकायें एक दूसरे के समीप, किन्तु विसंवाहित, रक्खी जाती हैं तब वे एक विद्युत् धारित्र बनाती हैं। इन पट्टिकाओं पर विद्युत् आवेश (Electric Charge) संग्रहित किया जा सकता है, और वह तब तक परिधारित रहता है जब तक धारित्र की पट्टिकायें एक दूसरे से पूर्णतया विसंवाहित रहती हैं। एक-सी ध्रुविता वाले आवेशों के बीच प्रतिकर्षण (Repelling) बल तथा विपरीत ध्रुविता वाले आवेशों के बीच आकर्षण बल होता है। ये सिद्धान्त विद्युत् अवधारणाओं के मूलभूत सिद्धान्त हैं। तब यदि एक आवेशित पट्टिका (Charged Plate) को, जिसमें इलेक्ट्रॉनों (अथवा ऋणात्मक आवेश) की अधिकता हो दूसरी आवेशित पट्टिका से, जिसमें इलेक्ट्रॉनों की कमी हो (अथवा धनात्मक आवेश वाली) युजित कर दिया जाय, तो आवेशों के बीच आकर्षण तथा प्रतिकर्षण की क्रिया के कारण संवाहक में इलेक्ट्रॉन प्रवाहित होने लगेंगे। इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह परिपथ में धारा का संस्थापन करता है। यह धारा, संवाहक में रोध पात के विरुद्ध बाध्य की जाती है, और इससे ऊष्मा विकसित होती है। यह ऊर्जा विद्युत् आवेश के प्रतिकर्षण बल के परिणामतः धारित्र में

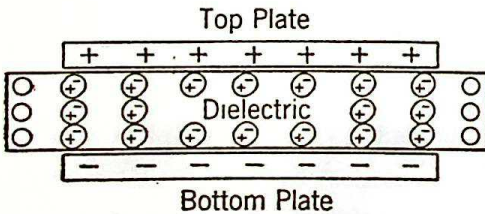
स्थैतिक ऊर्जा (Potential Energy) के रूप में संग्रहित थी। इस प्रतिकर्षण बल के परिणामतः उत्पन्न दबाव अथवा शक्म, आवेश के समानुपात में होता है। शक्म का परिमाण एक अनुपात स्थिरांक (Constant of Proportionality) पर भी निर्भर करता है, जो धारित्र पट्टिकाओं के आकार, उनके बीच के अन्तर तथा विसंवाहक पदार्थ द्वारा निर्धारित होता है। यह स्थिरांक **धारिता** कहलाता है, तथा चिह्न C से देशित किया जाता है। गणितानुसार इस सम्बन्ध को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$Q = EC.$$

Q कूलंब में, E वोल्ट में तथा C फ़ैरड (Farad) में मापा जाता है।

धारिता की इकाई फ़ैरड कहलाती है। इसकी परिभाषा इस प्रकार की जा सकती है : **एक फ़ैरड वह धारिता है, जो 1 वोल्ट के शक्म पर 1 कूलंब के आवेश के संग्रहण का अनुमनन करे।**

पार-विद्युत स्थिरांक (Dielectric Constant)

उपर्युक्त विश्लेषण, पूर्णतया, संवाहक के अन्दर आवेशों के प्रभाव पर आधारित है। इसलिये यह, अतिनिर्वात (High Vacuum) में स्थित संवाहकों के लिये ही मान्य है : दृष्टान्त के रूप में, निर्वात नाल (Vacuum Tube) की अन्तर-विद्योद धारिता (Inter-electrode Capacity)। प्रायोगिक अध्ययन से पता चलता है, कि यही विश्लेषण, वायु में स्थित संवाहकों के लिये भी मान्य है। अधिकांश ठोस अथवा द्रव विसंवाहकों को पट्टिकाओं के बीच रखने से यह पाया जाता है, कि धारिता काफ़ी बढ़ जाती है। यह वृद्धि अतिरिक्त ऊर्जा संग्रहण का अनुमनन करती है। ऊर्जा संग्रहण की क्रिया चित्र 7-19 में देशित की गई है। ऊपर वाली पट्टिका का धनात्मक आवेश पार-विद्युत् के अणुओं के इलेक्ट्रॉनों को आकर्षित कर लेता है। ये इलेक्ट्रॉन, अणुओं से इतनी दृढ़ता के साथ बँधे होते हैं, कि ये धातु के इलेक्ट्रॉनों की भाँति प्रवाहित नहीं हो सकते। ऊपर वाली पट्टिका का आकर्षण, तथा नीचे वाली पट्टिका का प्रतिकर्षण बल मिलकर पार-विद्युत् के अणुओं में एक खिंची हुई कमानी (Spring) की भाँति विकृति उत्पन्न करते हैं। धारित्र की पट्टिकाओं में आवेशों के प्रतिकर्षणों की क्रिया के प्रभाव का निष्फलन, पार-विद्युत् की विकृत स्थिति (Strained Condition) से किया जा सकता है। इस निष्फलन का विस्तार पार-विद्युत् के भौतिक

चित्र 7-19 : **पारविद्युत् में तनाव**

लक्षणों पर निर्भर करता है। धारित्र की धारिता को बदल सकने की योग्यता के देशनांक (Index) को पार-विद्युत् स्थिरांक कहते हैं। इसकी परिभाषा,

तालिका 7–2

विसंवाहक पदार्थों के पारविद्युत स्थिरांक

Material	*Dielectric Constant*	*Material*	*Dielectric Constant*
Air	1	Polystyrene	2–6
Glass	6–9	Bakelite	5–15
Porcelain	5–7	Paper	2–2.6
Steatite	5–6	Paraffin	2–2.5
Mica	6–7	Mineral Oil	2–2.5

धारित्र में एक बार पार-विद्युत् लगाकर, तथा दूसरी बार वायु अथवा निर्वात को विसंवाहक माध्यम रख कर, उसकी दोनों दशाओं की धारिता के अनुपात, से की जाती है। कुछ सामान्य विसंवाहकों के पार-विद्युत् स्थिरांकों की सूची तालिका 7-2 में दी गई है। बहुत-सी दिशाओं में, निर्माण की विभिन्न विधियों के कारण, अथवा विभिन्न गुणों के कारण, उस वस्तु के स्थिरांक के मान का परास (Range) दिया गया है।

धारित्र की धारिता (Capacitance of a Capacitor)

वाणिज्यिक धारित्रों में से बहुत से धारित्र, चपटी पट्टिका (Flat Plate) अथवा वेल्लित पर्ण (Rolled Foil) के होते हैं। इनकी धारिता निम्नलिखित समीकार से निकाली जा सकती है :

$$C = 2248\frac{Ak}{d}\times 10^{-6} \text{ फ़ैरड}$$

इस समीकार में A पार-विद्युत् का क्षेत्रफल (वर्ग इंच में), d पार-विद्युत् की मोटाई (इंच में) और k पार-विद्युत् स्थिरांक है (तालिका 7-2 में दिये गये के अनुसार)। धारिता की इकाई फ़ैरड, इतनी बड़ी इकाई है कि इसे प्राय: कभी भी व्यवहार में नहीं लाया जाता। साधारणतया, माइक्रो-फ़ैरड (μf) तथा माइक्रो माइक्रो फ़ैरड ($\mu\mu f$) ही विस्तृत रूप से प्रयोग होती हैं। तथापि समीकारों में स्थानापन्न करने से पहले इन इकाइयों को फ़ैरड में बदल लेना आवश्यक है। अन्यथा, समीकारों को इस प्रकार बदल लेना चाहिये कि ये इकाइयाँ सीधे ही प्रयुक्त हो सकें।

$1\mu F = 10^{-6}$ फ़ैरड तथा $1\mu\mu F = 10^{-12}$ फ़ैरड।

धारिता के समीकारों से यह ज्ञात होता है, कि जब धारित्र समानान्तर में

युजित हों, तो कुल धारिता प्रत्येक की अलग-अलग धारिता के योग के बराबर होती है। तथापि जब धारित्र माला में युजित होते हैं, तो सम धारिता (Equivalent Capacity) को निम्नलिखित समीकार के प्रयोग से निकाला जाता है।

$$\frac{1}{C_{eq}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\cdots\cdots$$

यह समीकार पहले अध्याय में विकसित किये गये बहुत से समानान्तर युजित रोधकों के सम रोध निकालने के समीकार के अनुरूप है।

अभ्यास 7-17 : काग़ज तथा धातु पर्ण (Foil) के धारित्र की धारिता निकालिये, जिसमें 21 स्तार पर्ण (Sheets of Foil) एक अवसान (Terminal) से, तथा 20, दूसरे से युजित हों। प्रत्येक चादर 10 इंच लम्बी तथा 2 इंच चौड़ी है। धारित्र, 41 स्तारों का बना है जो काग़ज़ के 40 दुहरे स्तारों से पृथक् की गई है। काग़ज़ की प्रत्येक दुहरी चादर की मोटाई 0·016 इंच है।

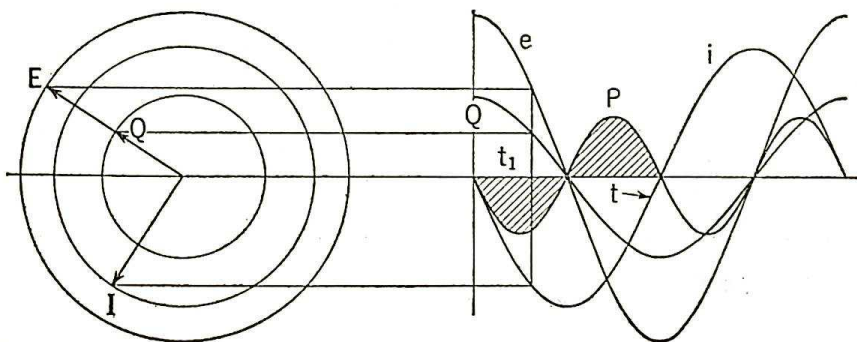
अभ्यास 7-18 : एक विचरणशील वायु धारित्र (Air Capacitor) में 10 घूमने वाली पट्टिकायें हैं। प्रत्येक का बाहरी अर्धव्यास 3 इंच है। 11 स्थिर पट्टिकाओं का आन्तरिक अर्धव्यास 1·0 इंच है। स्थिर तथा घूमने वाली दोनों ही पट्टिकायें 0·05 इंच मोटे पदार्थ की बनी हैं ; और 0·25 इंच के केन्द्रान्तर पर लगी हैं। ये 180° की चाप पर फैली हुई हैं। अधिकतम धारिता निकालिये।

धारित्र में वोल्टता तथा धारा का सम्बन्ध

धारित्र पर तात्क्षणिक आवेश, उस क्षण पर आरोपित वोल्टता के समानुपात में होता है। इसलिये आवेश, वोल्टता के घटने अथवा बढ़ने पर उसके साथ ही साथ घटता बढ़ता है। चित्र 7-20 में वोल्टता को एक कोज्या तरंग रूप में अंकित किया गया है और आवेश को एक दूसरी कोज्या तरंग के रूप में जो भिन्न परिमाण की है, परन्तु वोल्टता के साथ प्रावस्था में है। यदि धारित्र में आवेश लगातार बदल रहा हो तो उस संवाहक में, (जिसके द्वारा धारित्र को जोड़ा गया है) धारित्र की ओर और धारित्र से बाहर की ओर इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह आवश्यक है। इसलिये परिपथ में धारा, उस धारित्र पर आवेश के घटने और बढ़ने की दर के बराबर होगी। जब वोल्टता बढ़ रही होती है, तो परिपथ में धारा, लाइन से धारित्र की ओर बहती है। जब धारित्र के आर-पार वोल्टता बढ़कर लाइन वोल्टता के बराबर हो जाती है, तब धारा का मान शून्य हो जाता है। इस अवस्था में धारा का प्रवाह धनात्मक दिशा में होता है। जब वोल्टता शून्य स्थिति के बाद बढ़ती है, तो बढ़ने की दर अधिकतम होती है ; और इसलिये धारा का मान भी अधिकतम होता है। जब धारा तरंग का

अधिकतम धनात्मक मान, वोल्टता तरंग के अधितकम धनात्मक मान से 90° पहले होता है, तो धारा को वोल्टता से 90° अग्रित कहा जाता है।

इसी परिणाम को एक विभिन्न विधि से भी प्राप्त किया जा सकता है। यह पहले ही पढ़ा जा चुका है कि किसी ज्या तरंग के वदलने की दर एक दूसरी ज्या तरंग होती है, जो पहली तरंग से 90° अग्रित होती है। चूंकि धारा वोल्टता तरंग के बदलने के समानुपात में होती है, इसलिये यह निष्कर्ष निकलता है कि एक धारित्र में, जिसमें ज्यावक्री वोल्टता आरोपित है, धारा प्रवाह की स्थिर-स्थिति दशा एक ज्या तरंग है, जो वोल्टता तरंग से 90° अग्रित है। यह भी पिछले तर्क की पुष्टि करता है। ये तरंगें चित्र 7-20 में दिखाई गई हैं। यह देखा जाता है कि यह धारा, काल प्रावस्था में, प्ररोचिता के अन्दर धारा के विपरीत है (जो वोल्टता से 90° अनुगामी होती है)।

धारित्र में व्यय शक्ति के तात्क्षणिक मान को भी चित्र 7-20 में दिखाया गया है। यह भी एक ज्या तरंग है जिसकी औसत शक्ति शून्य है; और इसकी

चित्र 7-20 : **धारि परिपथ में धारा, वोल्टता तथा शक्ति**

वारंवारता, वोल्टता तरंग की दूनी है। यही बात, चित्र 7-11 में दिखाये गये प्ररोचिता कुंडल के लिये भी सत्य थी। तथापि तुलनात्मक अध्ययन से पता चलेगा कि एक चौथाई चक्र के लिये, जब वोल्टता धनात्मक अधिकतम मान से शून्य की ओर घट रही है तब धारित्र में आदा (Input) शक्ति ऋणात्मक है, किन्तु प्ररोचिता कुंडल वाले परिपथ में यह धनात्मक होती है। अनुवर्ती चौथाई चक्र में, यह आदा शक्ति, धारि परिपथ में धनात्मक तथा प्ररोचि परिपथ में ऋणात्मक होती है। इन परिपथ अंशकों का यह लक्षण महत्वपूर्ण है; क्योंकि यह एक अंशक से दूसरे में शक्ति के आवर्ती स्थानान्तर का अनुमनन करता है। यह उच्च वारंवारता सज्जा (High Frequency Equipment) में, विस्तृत रूप से प्रयोग होनेवाले, समस्वरित परिपथों में दोलनों का आधार है।

धारि प्रतिकारिता (Capacitive Reactance)

पहले परिच्छेद में, गुणात्मक रीति से निश्चित किया गया था, कि धारित्र में धारा, आवेश के **बदलने की दर** के बराबर होती है। अब वारंवारता को अन्तर्हित करने वाले संख्यात्मक सम्बन्ध (Numerical Relationships) निश्चित किये जायँगें। ज्या तरंग के वदलने की दर की विवेचना करने से यह पाया गया था कि उसका अधिकतम मान, मूल ज्या तरंग के अधिकतम मान का $2\pi f$ गुना है। इसलिये Q के परिवर्तन की दर का अधिकतम मान Q_{max} के $2\pi f$ गुना होगा। यही, धारा का अधिकतम मान भी है। गणितानुसार इसे इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$I_{max} = 2\pi f Q_{max}.$$

यह ज्ञात है कि आवेश वोल्टता तथा धारिता के गुणन के बराबर होता है। इस प्रकार :

$$Q_{max} = CE_{max}$$

इस मान को उपर्युक्त समीकार में प्रवेश कर,

$$I_{max} = (2\pi fC)E_{max}, \text{ और } I_{eff} = (2\pi fC)E_{eff}.$$

जहाँ $2\pi fC$ एक स्थिरांक है, जो धारा तथा वोल्टता के परम (Absolute) मानों के सम्बन्ध को देशित करता है। चूँकि धारि परिपथ की प्रतिकारिता को, धारा के मान से गुणा करने पर वोल्टता प्राप्त होती है, इसलिये धारित्र की प्रतिकारिता को $\frac{1}{2\pi fC}$ के द्वारा निर्धारित किया जाता है। गणितानुसार यह कथन :

$$E = I.Xc = \frac{I}{2\pi fC}.$$

$$Xc = \frac{1}{2\pi fC}.$$

चूँकि धारिता तथा वारंवारता दोनों ही हर (Denominator) में हैं इसलिये वारंवारता तथा धारिता दोनों के ही बढ़ने पर अवबाधिता घट जाती है। यह प्ररोचिता की प्रतिकारिता के ठीक विपरीत है, जो वारंवारता तथा प्ररोचिता दोनों के ही बढ़ने पर बढ़ जाती है।

माला में रोध, प्ररोचिता एवं धारिता

जब रोध को धारित्र के साथ माला में युजित करते हैं तो लगभग वैसी ही स्थिति प्राप्त हो जाती है, जैसी कि रोध को प्ररोचिता के साथ माला में युजित करने पर होती है। रोध के आर-पार वोल्टता धारा के साथ प्रावस्था में होती है, तथा धारित्र के आर-पार वोल्टता धारा के 90° अनुगामी होती है। कुल

वोल्टता, जो दोनों संघटक वोल्टताओं के बीजीय योग के बराबर होती है ; इस प्रकार धारा के अनुगामी होती है। धारा जिस कोण द्वारा वोल्टता से अग्रित होती है, उसकी स्पर्शज्या (Tangent), $\frac{X_C}{R}$ के बराबर होती है।

उदाहरण : 1 μF के धारित्र को, 1000 ओम के रोधक के साथ माला-युजित कर 12 वोल्ट, 500 चक्र की लाइन के आर-पार लगाया गया है। धारा, सम अवबाधिता, तथा शक्ति खण्ड कोण निकालिये।

समाधान :

1. धारित्र की प्रतिकारिता निकालिये।

$$X_C=\frac{1}{2\pi fC}=\frac{1}{2\pi\times500\times1\times10^{-6}}=\frac{1000}{\pi}=318{\cdot}5 \text{ ओम}$$

2. सम अवबाधिता निकालिये।

$$Z=\sqrt{R^2+X_C^2}$$
$$\doteq\sqrt{1000^2+318{\cdot}5^2}$$
$$=\sqrt{1000000+101500}$$
$$=\sqrt{1101500}$$
$$=1050 \text{ ओम}$$

$$\tan\theta=\frac{X_C}{R}=\frac{318{\cdot}5}{1000}=0{\cdot}318.$$

$$\therefore \theta=17{\cdot}7^\circ.$$

चित्र 7-21 : धारि परिपथ का दिष्ट रेखाचित्र

3. धारा निकालिये।

$$I=\frac{E}{Z}=\frac{12}{1050}=0{\cdot}0114 \text{ अम्प०}=11{\cdot}4 \text{ मि० अ०}$$

यह धारा वोल्टता से $17{\cdot}7^\circ$ अग्रित होगी।

अभ्यास 7-19 : एक $0{\cdot}001$ μF का धारित्र, 125 ओम के रोधक के साथ माला बद्ध कर 200 वोल्ट, 600 किलो चक्र वारंवारता के शक्ति प्रभव से युजित किया गया है। प्रवाहित धारा तथा प्रावस्था कोण निकालिये और दिष्ट रेखाचित्र भी खींचिये।

माला में रोध, प्ररोचिता एवं धारिता

जब रोध प्ररोचिता एवं धारिता माला में युजित होती हैं तब पहले की भाँति ही, कुल वोल्टता व्यक्तिगत अंशकों के आर-पार तात्क्षणिक वोल्टताओं का दिष्ट योग होती है। इन वोल्टताओं का विश्लेषण करने पर यह ज्ञात होगा, कि धारित्र के आर-पार वोल्टता, प्ररोचिता के आर-पार वोल्टता के ठीक विपरीत होती है। इसलिये इन दोनों के संयोजन के आर-पार की वोल्टता, प्रत्येक की

अलग-अलग वोल्टता से कम होती है। ऐसे माला परिपथ की प्रतिकारिता, प्ररोचि प्रतिकारिता तथा धारि प्रतिकारिता के अन्तर के बराबर होती है। क्योंकि ये दोनों प्रतिकारिताएं एक दूसरे का निष्फलन करने का प्रयत्न करती हैं, इसलिये सामान्यतः, एक का धनात्मक मान तथा दूसरे का ऋणात्मक मान नियोजित (Assign) किया जाता है। रोध को प्रेष्टि मानकर, प्ररोचि प्रतिकारिता को ऊपर की ओर ऊर्ध्वाधर खींचा जाता है तथा धारि प्रतिकारिता को नीचे की ओर। इसलिये प्ररोचि प्रतिकारिता को धनात्मक तथा धारि प्रतिकारिता को ऋणात्मक समझा जाता है। इस आधार पर शक्ति खण्ड कोण को, वोल्टता की धारा से अग्रित होने पर धनात्मक, तथा उसके अनुगामी होने पर ऋणात्मक समझा जाता है। संगणना करने की विधियाँ वही हैं, जैसी कि माला में रोध तथा प्ररोचिता के लिये ; और अवबाधिताओं का योग बीजीय विधि, अथवा रेखाचित्रीय रूप में किया जा सकता है।

उदाहरण : 100 वोल्ट, 60 चक्रीय परिपथ के आरपार एक 50 μF का धारित्र, 5 ओम का रोध, तथा 0·08 हेनरी की प्ररोचिता और 6 ओम के रोधवाला एक प्ररोचिता कुंडल माला में युजित है। सम अवबाधिता, धारा, शक्ति खंड कोण तथा परिपथ के प्रत्येक अंशक के आरपार वोल्टता निकालिये।

समाधान : 1. अवबाधिता निकालिये।

धारित्र की प्रतिकारिता $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$.

$$= \frac{1}{2\pi \times 60 \times 50 \times 10^{-6}}$$

$$= -53 \text{ ओम}$$

कुंडल की प्रतिकारिता $X_L = 2\pi fL$.

$$= 2\pi \times 60 \times 0{\cdot}08 = 30{\cdot}1 \text{ ओम}$$

$\therefore \quad X = -53 + 30{\cdot}1 = -22{\cdot}9$ ओम धारि प्रतिकारिता

कुल रोध $R = 5 + 6 = 11$ ओम

$$\therefore \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{11^2 + 22{\cdot}9^2}$$

$$= \sqrt{646} = 25{\cdot}4 \text{ ओम}$$

$$\tan\theta = \frac{X}{R} = -\frac{22{\cdot}9}{11} = -2{\cdot}08.$$

$$\therefore \quad \theta = -64{\cdot}4^\circ.$$

2. धारा निकालिये।

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110}{25{\cdot}4} = 4{\cdot}33 \text{ अम्प०}$$

शक्ति खंड $= \cos\theta = 0{\cdot}43$.

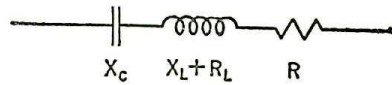
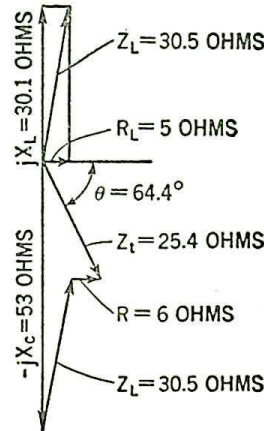
3. प्रत्येक परिपथ अंशक के आरपार वोल्टता निकालिये।

E (धारित्र) $= IX_C = 4{\cdot}33 \times 53 = 229$ वोल्ट

Z (कुंडल) $= \sqrt{5^2 + 30{\cdot}1^2} = \sqrt{25 + 906} = 30{\cdot}5$ ओम

$\therefore$ E (कुंडल) $= I \times Z$ कुंडल

$= 4{\cdot}33 \times 30{\cdot}5 = 132$ वोल्ट

E (रोध) $= 4{\cdot}33 \times 6 = 26$ वोल्ट*

नोट : उपर्युक्त उदाहरण में यह बात नोट करनी चाहिये, कि धारित्र तथा कुंडल दोनों ही के आरपार वोल्टता, लाइन वोल्टता से अधिक है। यह स्थिति, उच्च वारंवारता वाले परिपथों में सामान्य होती है। उन परिपथों में, जिनमें प्ररोचि एवं धारि प्रतिकारिताएँ बराबर हों और रोध कम हो, धारित्र तथा कुंडल के आरपार की वोल्टता, लाइन वोल्टता की कई गुनी हो सकती है।

चित्र 7-22 : **दिष्ट रेखाचित्र-रोध, प्ररोचिता एवं धारिता माला में युजित**

अभ्यास 7-20 : 20 ओम का रोधक, 100 μh की प्ररोचिता एवं 0·05 μf का धारित्र मालाबद्ध कर के, 10 वोल्ट 100 किलो चक्रीय लाइन के आरपार युजित किये गये हैं। धारा तथा सम अवबाधिता निकालिये।

अभ्यास 7-21 : 0·3 ओम के रोध एवं 1·3 μh की प्ररोचिता वाला कुंडल, 2 ओम के रोध एवं 10 μf के धारित्र के साथ मालाबद्ध कर 5 वो० 40 चक्रीय लाइन के आरपार युजित किये गये हैं। कुंडल तथा रोध के आर-पार वोल्टताओं के बीच प्रावस्था अन्तर निकालिये। आरोपित वोल्टता तथा कुंडल के आरपार वोल्टता के बीच, कितना प्रावस्था अन्तर होगा?

समानान्तर में रोध, प्ररोचिता एवं धारिता

समानान्तर परिपथों में, जब एक शाखा में धारि प्रतिकारिता तथा दूसरी में प्ररोचि प्रतिकारिता पाई जाती है तब प्रत्येक शाखा का समाधान अलग-अलग

* चित्र 7-22 में, जिसमें अवबाधिताओं का बिन्दुरेखीय योग दिखाया गया है; यह अवलोकित होगा कि प्रत्येक अवबाधिता अलग-अलग निकाली गई है। बहुत-से इंजीनियर, रोध एवं प्रतिकारिताओं को अलग-अलग जोड़कर, और तब सम अवबाधिता निकालना अधिक अच्छा समझते हैं (जैसा विश्लेषण में दिखाया गया था)। परन्तु, दिष्ट विधि के द्वारा परिपथ के विभिन्न भागों में वोल्टताओं को पूर्ण रूप से समझा जा सकता है।

करके प्रत्येक में धारा निकाली जाती है। कुल धारा, प्रत्येक शाखा की धारा का दिष्ट योग करके निकाली जाती है। यह योग, बिन्दुरेखीय विधि से किया जा सकता है अथवा इस प्रकार किया जा सकता है :—वोल्टता के साथ प्रावस्था में विभिन्न धाराओं के भागों के योग तथा प्रावस्था से 90° विलगित भागों के योग के बीजीय योग से कुल धारा निकाली जा सकती है। सम अवबाधिता, वोल्टता को कुल धारा से भाग देकर निकाली जाती है (जैसा अन्य परिपथों में भी किया जाता है)। शक्ति खंड कोण की स्पर्शज्या, प्रावस्था विलगित धारा को, प्रावस्था धारा से भाग देकर निकाली जा सकती है।

उदाहरण : पहलेवाले उदाहरण में, धारित्र को एक 6 ओम के रोधक से माला में युजित कर, तथा उस कुंडल को इनके साथ समानान्तर में युजित कर ११० वोल्ट की लाइन के आरपार लगा दिया जाता है। सम अवबाधिता, धारा तथा शक्ति खंड कोण निकालिये।

समाधान : 1. प्रतिकारिताएँ पिछले उदाहरण से ली जा सकती हैं।

$$Z_C=\sqrt{R^2+X^2}=\sqrt{6^2+53^2}=\sqrt{36+2810}$$

$$=\sqrt{2846}=53{\cdot}4 \text{ ओम}$$

$$\tan\,\theta_C=-\frac{X}{R}=-\frac{53}{6}=-8{\cdot}83$$

$$\therefore\ \theta_C=-83{\cdot}5^\circ$$

$$Z_L=\sqrt{5^2+30{\cdot}1^2}=\sqrt{25+906}=\sqrt{931}=30{\cdot}5 \text{ ओम}$$

$$\tan\,\theta_L=\frac{30{\cdot}1}{5}=6{\cdot}02.$$

$$\therefore\ \theta_L=80{\cdot}5^\circ$$

2. धारा के वोल्टता से प्रावस्था, तथा 90° विलगित भाग निकालिये।

$$I_C=\frac{E}{Z_C}=\frac{110}{53{\cdot}4}=2{\cdot}06 \text{ अम्प०}$$

$$I_L=\frac{E}{Z_L}=\frac{110}{30{\cdot}5}=3{\cdot}61 \text{ अम्प०}$$

प्रावस्था में धारा

$$=I_C\ \cos\theta_C+I_L\ \cos\ \theta_L=2{\cdot}06\cos(-83{\cdot}5^\circ)+3{\cdot}61\cos(80{\cdot}5^\circ)$$

$$=2{\cdot}06\times0{\cdot}112+3{\cdot}61\times0{\cdot}165=0{\cdot}231+0{\cdot}596$$

$$=0{\cdot}827 \text{ अम्प०}$$

प्रावस्था से 90° विलगित धारा $=I_C\sin\ \theta_C+I_L\ \sin\ \theta_L.$

$$=2{\cdot}06\ \sin\ (-83{\cdot}5^\circ)+3{\cdot}61\ \sin\ (80{\cdot}5^\circ)$$

$$=2{\cdot}06\ (-0{\cdot}993)+3{\cdot}61\times0{\cdot}984$$

$$=-2{\cdot}05+3{\cdot}56=1{\cdot}51 \text{ अम्प०}$$

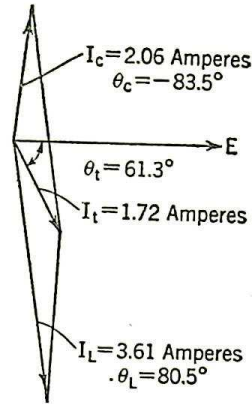
3. कुल धारा तथा शक्ति खंड कोण निकालिये।

$$I_t = \sqrt{0{\cdot}827^2 + 1{\cdot}51^2} = \sqrt{0{\cdot}685 + 2{\cdot}28} = \sqrt{2{\cdot}96}$$
$$= 1{\cdot}72 \text{ अम्प०}$$

$$\tan \theta_t = \frac{1{\cdot}51}{0{\cdot}827} = 1{\cdot}83.$$

$$\theta_t = 61{\cdot}3^\circ.$$

4. सम अवबाधिता निकालिये।

$$Z_t = \frac{E}{I} = \frac{110}{1{\cdot}72} = 64 \text{ ओम}$$

चित्र 7-23

नोट : उपर्युक्त उदाहरण में यह ध्यान देना चाहिये, कि प्रत्येक शाखा में धारा का मान, कुल अथवा सम धारा से अधिक है। जब रोध कम हो और एक शाखा की प्ररोचि प्रतिकारिता दूसरी शाखा की धारि प्रतिकारिता के बराबर हो तो शाखाओं की धारायें कुल धारा से कई गुना अधिक हो सकती हैं।

अभ्यास 7-22 : यदि एक संधान परिवर्तित्र (Welding Transformer) 120 वोल्ट की लाइन से 0·7 शक्ति खंड पर 25 अम्प० ले रहा हो और यदि परिवर्तित्र के अवसानों के आरपार 300 μf का धारित्र लगा दिया जाय तो लाइन धारा निकालिये। वारंवारता 50 चक्र है।

अभ्यास 7-23 : 240 वोल्ट 250 किलोचक्रीय प्रभव से नीचे दिये हुए समानान्तर परिपथ द्वारा ली गई धारा निकालिये। एक शाखा में 300 $\mu\mu f$ का धारित्र ; और दूसरी में 250 ओम का रोध, 1 मिलि हेनरी की प्ररोचिता के साथ माला युजित है। तात्क्षणिक आदा शक्ति भी निकालिये :— (*i*) धारित्र में, (*ii*) प्ररोचि परिपथ में, (*iii*) संयुक्त परिपथ में।

अभ्यास 7-24 : एक एकीफ़ेज (Single Phase) प्ररोचन मोटर 220 वो०, 50 चक्रीय लाइन से 4 अम्प० लेती है। वाटमीटर वाचन 300 वाट है। ऐसे धारित्र की धारिता निकालिये, जो शक्तिखंड को 90% तक ले आये।

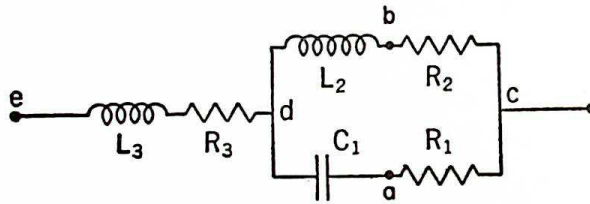
माला एवं समानान्तर शाखाओं वाले प्र० धा० परिपथ

रोध, प्ररोचिता तथा धारिता वाले माला और समानान्तर प्र० धा० परिपथों का विश्लेषण किया जा चुका है। किन्तु बहुत-सी व्यवाहारिक परिपथ समस्याओं में समानान्तर शाखायें दूसरे परिपथ अंशकों के साथ माला में युजित होती हैं। ऐसी संगणना के लिये विश्लेषण की विधि बताई जा चुकी है। कुल अवबाधिता, समानान्तर शाखाओं की सम अवबाधिता निकालकर उसे माला युजित अंशकों की अवबाधिता से जोड़कर निकाली जा सकती है। साधारणतया,

समानान्तर परिपथ के आरपार वोल्टता नहीं दी होती। ऐसी दशा में समानान्तर परिपथ की अवबाधिता निकालने के लिये, इसके आरपार इकाई वोल्टता मान ली जाती है। निम्नलिखित उदाहरण उपर्युक्त विधि के प्रयोग को निर्दशित करता है। साथ ही साथ, यह भी दिखाता है, कि माला परिपथ का पूर्ण रूप से विश्लेषण किया जा सकता है।

उदाहरण : चित्र 7-24 में दिखाये गये माला समानान्तर परिपथ के अंशकों का मान निम्नलिखित है :

$$C_1 = 0{\cdot}001\ \mu f;\quad R_1 = 100 \text{ ओम},\ R_2 = 100 \text{ ओम}$$
$$L_2 = 100\ \mu h;\quad L_2 = 80\ \mu h;\quad R_2 = 50 \text{ ओम}$$

यदि अवसानों के आरपार 10 वोल्ट 750 किलोचक्रीय वोल्टता आरोपित की जाय तो परिपथ के प्रत्येक भाग में धारा निकालिये। धाराओं तथा वोल्टताओं का दिष्ट रेखाचित्र खींचिये और बिन्दु a और b के बीच की वोल्टता निकालिये।

चित्र 7-24

समाधान : 1. सब परिपथ अंशकों की अवबाधिता निकालिये।

$$X_{C_1} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{10^6}{2\pi \times 750000 \times 0{\cdot}001} = -212 \text{ ओम}$$

$$X_{L_2} = 2\pi fL_2 = 2\pi \times 750000 \times 100 \times 10^{-6} = 472 \text{ ओम}$$

$$X_{L_3} = 2\pi fL_3 = 2\pi \times 750000 \times 80 \times 10^{-6} = 377 \text{ ओम}$$

2. समानान्तर शाखाओं के आरपार 1 वो० वोल्टता मान लीजिये। अब समानान्तर परिपथ का समरोध निकालिये।

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{100^2 + 212^2} = 234 \text{ ओम}।$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\frac{X_1}{R_1} = \tan^{-1} 2{\cdot}12 = -64{\cdot}7^\circ.$$

$$I'_1 = \frac{E}{Z_1} = \frac{1}{234} = 0{\cdot}00426 \text{ अम्प०, } 64{\cdot}7^\circ \text{ के कोण पर।}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{100^2 + 472^2} = 482 \text{ ओम}.$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\frac{X}{R} = \tan^{-1} 4{\cdot}72 = 78^\circ.$$

$$I'_2=\frac{E}{Z_2}=\frac{1\cdot0}{482}=0\cdot00207$$ अम्प०, -78^0 के कोण पर

वोल्टता से प्रावस्था में कुल धारा का भाग

$$I_{eq}\cos\theta_{eq}=I'\cos\theta_1+I'_2\cos\theta_2.$$
$$=[(0\cdot00426\times\cdot427)+(0\cdot00207\times0\cdot208)]$$
$$=0\cdot00182+0\cdot00043=0\cdot00225.$$

वोल्टता से 90^0 अनुगामी कुल धारा का भाग :

$$I_{eq}\sin\theta_{eq}=I'_1\sin\theta_1+I'_2\sin\theta_2.$$
$$=[0\cdot00426\times0\cdot907]+[0\cdot00207\times(-0\cdot98)]$$
$$=0\cdot00387-0\cdot00203=0\cdot00184.$$

समानान्तर परिपथ के आरपार 1 वोल्ट की वोल्टता के लिये सम धारा

$$I'_{eq}=\sqrt{(0\cdot00225)^2+(0\cdot00184)^2}=0\cdot00291$$ अम्प०

$$\theta_{eq}=\tan^{-1}\frac{0\cdot00184}{0\cdot00225}=\tan^{-1}0\cdot82=39\cdot2^0.$$

सम अवबाधिता $Z_{eq}=\dfrac{1}{0\cdot00291}=346$ ओम

सम रोध $R_{eq}=Z_{eq}\cos\theta_{eq}=346\cos(-39\cdot2^0)$

$=346\times0\cdot773=268$ ओम

सम प्रतिकारिता $X_{eq}=Z_{eq}\sin\theta_{eq}=346\sin(-39\cdot2^0)$

$=346\times(-0\cdot63)=-218$ ओम

3. परिपथ की कुल अवबाधिता तथा कुल धारा निकालिये।

$R_t=R_{eq}+R_3=268+50=318$ ओम

$X_t=X_{eq}+X_3=-218+377=159$ ओम

$Z_t=\sqrt{R_t^2+X_t^2}=\sqrt{(318)^2+(159)^2}=356$ ओम

$$\theta_t=\tan^{-1}\frac{X}{R}=\tan^{-1}\frac{159}{318}=26\cdot6^0.$$

$$I_t=\frac{E}{Z_t}=\frac{10}{356}=0\cdot0281$$ अम्प०

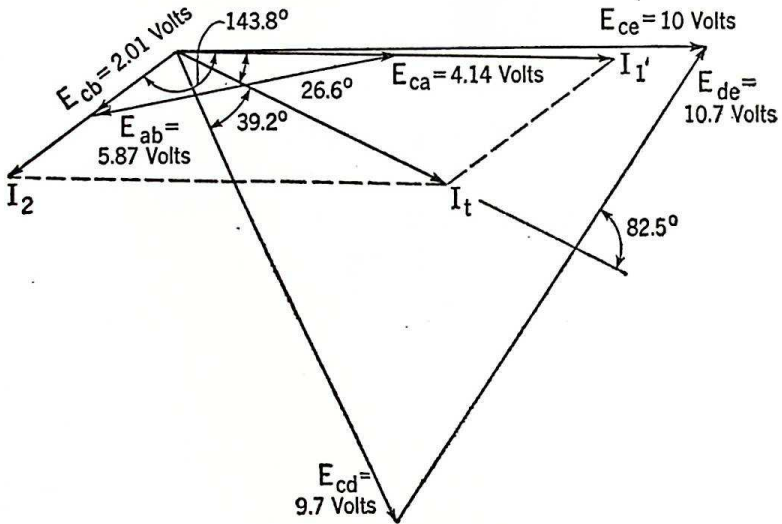
इस प्रकार कुल धारा=28·1 मि० अम्प० है और वोल्टता से $26\cdot6^0$ अनुगामी है।

4. आरोपित वोल्टता को प्रेष्टि मानकर अब फ़ेज़र रेखाचित्र खींचा जा सकता है।

5. समानान्तर परिपथ के आरपार वोल्टता निकालिये।

$$E_{cd}=I_t\times Z_{eq}.$$
$$=0\cdot0281\times346=9\cdot7$$ वोल्ट

समाधान के भाग (2) से पता चलता है, कि समानान्तर परिपथ के आरपार वोल्टता कुल धारा से 39·2° अनुगामी है। *C* को मूल बिन्दु मानकर इस वोल्टता फ़ेज़र को भी फ़ेज़र रेखाचित्र में जोड़ा जा सकता है।

6. वोल्टता E_{dc} निकालिये।

चित्र 7-25 : **माला समानान्तर परिपथ विश्लेषण के उदारहण का दिष्ट रेखाचित्र**

चूँकि अवसानों के आरपार की वोल्टता $E_{cd}+E_{de}$ है, इसलिए फ़ेज़र वोल्टता E_{de}, रेखाचित्र में त्रिकोण को पूरा करके निकाली जा सकती है। देशित किये गये के अनुसार E_{dc} खींचा जाता है और इसका परिमाण 10·7 वोल्ट है और कुल धारा से 82 अग्रित है। इसकी संगणना इस प्रकार की जा सकती है :—

$$Z_3=\sqrt{R_3^2+X_3^2}=\sqrt{50^2+377^2}=380 \text{ ओम}$$

$$E_{dc}=I_t\, Z_3=0{\cdot}0281\times380=10{\cdot}7 \quad \text{वोल्ट}$$

$$\theta_3=\tan^{-1}\frac{377}{50}=\tan^{-1}7{\cdot}5=82{\cdot}5^0$$

7. प्रत्येक समानान्तर परिपथ में धारा निकालिये। 1 वो० आरोपित करने पर धारा I'_1 0·00426 अम्प० थी और वोल्टता से 64·7° अग्रित थी। इसलिये 9·7 वो० के आरोपित करने पर $I_1=9{\cdot}7\times0{\cdot}00426=0{\cdot}0414$ अम्प० तथा यह उस वोल्टता से 64·7° अग्रित होगी अथवा प्रेष्टि वोल्टता (Reference Voltage) से 26·6°+39·2°–64·7°=1·1° ही अग्रित होगी। इसी प्रकार $I_2=9{\cdot}7\times0{\cdot}00207=0{\cdot}0201$ अम्प०। यह E_{cd} से 78° अनुगामी होगी अथवा आरोपित वोल्टता E_{ce} से 78°+65·8°=143·8 अनुगामी होगी।

8. बिन्दु a और b के बीच की वोल्टता निकालिये।

$E_{cb}=I_1R_1=4{\cdot}14$ वोल्ट ; $1{\cdot}1^{\circ}$ अनुगामी

$E_{ca}=I_2R_2=2{\cdot}01$ वोल्ट ; $143{\cdot}8^{\circ}$ अनुगामी

$E_{ab}=E_{ac}+E_{cb}=-E_{ca}+E_{cb}$

E_{ab} के ऊर्ध्वाधर संघटक (Vertical Components)

$=-4{\cdot}14 \sin(-1{\cdot}1^{\circ})+2{\cdot}01 \sin(-143{\cdot}8^{\circ})$

$=0{\cdot}07-1{\cdot}19=-1{\cdot}12$ वो०

E_{ab} के क्षैतिज संघटक (Horizontal Components)

$=-4{\cdot}14 \cos(-1{\cdot}1^{\circ})+2{\cdot}01 \cos(-143{\cdot}8^{\circ})$

$=-4{\cdot}14-1{\cdot}62=-5{\cdot}76$ वो०

$\therefore \quad E_{ab}=\sqrt{(5{\cdot}76)^2+(1{\cdot}12)^2}=5{\cdot}87$ वो०

कोण तीसरे चतुष्क (Quadrant) में है और,

$$\theta=\sin^{-1}\frac{1{\cdot}12}{5{\cdot}87}=-169^{\circ}$$

उपर्युक्त उदाहरण का समाधान काफ़ी लम्बा है। परन्तु जटिल प्र० धा० परिपथों के समाधान सरल नहीं होते। इंजीनियरी व्यवहार में आनेवाले अधिकांश परिपथों के समाधान के लिये, माला-समानान्तर परिपथों में धारा तथा वोल्टतायें निकालने की उपर्युक्त विधि, प्रभावी पाई जायेगी।

अनुनाद की अवधारणाएँ

विद्युत् परिपथों में अनुनाद की घटना रेडियो में विशेष रूप से प्रयोग की जाती है ; परन्तु कुछ विद्युत् मापन उपकरणों में भी इसका प्रयोग किया जाता है। इसीलिये विद्यार्थी को, इसके अन्तर्हित भौतिक सम्बन्धों की प्रारम्भिक अवधारणाओं का ज्ञान होना वांछनीय है।

अनुनाद का यह नाम, कुछ वस्तुओं के प्रति—चारण, अथवा ध्वनि को प्रतिध्वनित (Echo) करने के लक्षण को दिया जाता है। सामान्यतः यह वस्तुएँ कुछ विशिष्ठ तारत्व (Pitch) पर ही, जिन पर वे समस्वरित (Tuned) होती हैं, प्रतिचारण (Respond) करती हैं। ये प्रतिचारण इतनी उच्च वारंवारता तथा इतने कम आयाम (Amplitude) के होते हैं कि उन्हें बिना विशेष उपकरणों के देखना असंभव है। घड़ी के पेन्डुलम में भी ऐसी ही घटना देखी जा सकती है। पेन्डुलम आगे और पीछे झूलता है, और झुलाव (Swing) के मध्य में, चलन के कारण उत्पन्न होनेवाली अपनी गतिज ऊर्जा (Kinetic Energy) को, झुलाव के एक सिरे पर स्थितिज ऊर्जा (Potential Energy) में बदल देता है। इसको आगे पीछे झुलाने के लिये केवल एक विशेष चक्र का [जिसे स्केपमेंट चक्र (Escapement Wheel)

कहते हैं] थोड़ा-सा प्रणोद (Impulse) ही आवश्यक है। इस चक्र के एक प्रणोद अथवा धक्के से कम्पन का आयाम, पेन्डुलम के आयाम से कहीं कम होगा। परन्तु चक्र का नियमित प्रणोद, पेन्डुलम की घर्षण एवं वायुरोध के कारण ऊर्जा हानि को पूरा करने के लिये पर्याप्त होता है।

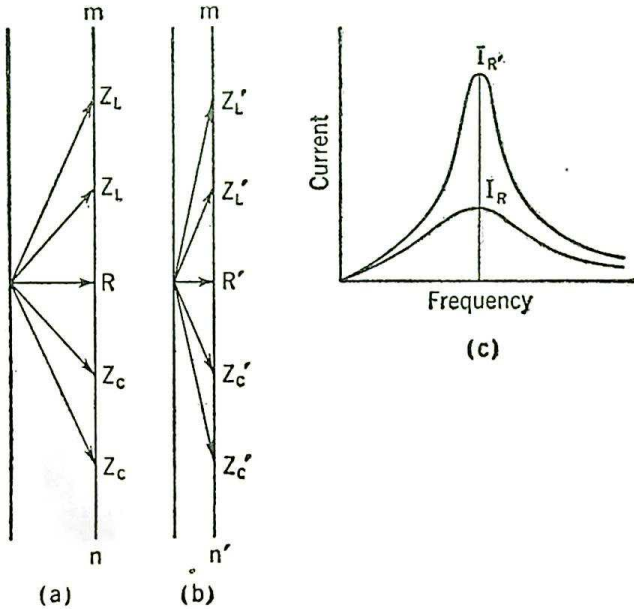
इसी प्रकार के ऊर्जा स्थानान्तरण की प्रव्यक्ति, (Manifestation) प्ररोचिता तथा धारितावाले विद्युत् परिपथों में पाई जाती है। यह दोनों ही अंशक चक्र के एक चतुर्थ भाग में ऊर्जा का संग्रह और दूसरे चतुर्थ भाग में संग्रहित ऊर्जा को लौटाते हुए पाये गये हैं। जब प्ररोचिता ऊर्जा को लौटाती है, तब धारित्र ऊर्जा का संग्रह करता है। इसलिये यह संभव है कि धारित्र और प्ररोचित्र आपस में ऊर्जा का बड़े परिमाण में अदल-बदल कर सकें; और बाहरी परिपथ, केवल हानियों को ही प्रदाय करे। जब धारित्र द्वारा अवशोषित ऊर्जा, प्ररोचित्र द्वारा प्रदत्त ऊर्जा के ठीक बराबर होगी; तभी यह कार्य सबसे अधिक संतोष-जनक रूप में होगा। माला परिपथ में, दोनों अंशकों में धारा का मान बराबर होता है। चूँकि प्ररोचित्र के आरपार वोल्टता, वारंवारता के साथ-साथ बढ़ती है, तथा धारित्र के आरपार वोल्टता वारंवारता के साथ-साथ घटती है, इसलिये ऐसी एक वारंवारता अवश्य ही होगी, जिस पर दोनों वोल्टतायें बराबर होंगी और जिस पर धारित्र की संग्रहित ऊर्जा प्ररोचित्र की ऊर्जा के बराबर होगी। इसे अनुनाद वारंवारता कहते हैं। प्ररोचित्र के आरपार और साथ ही धारित्र के आरपार की वोल्टता, लाइन वोल्टता से कई गुना अधिक हो सकती है।

जब प्ररोचित्र और धारित्र समानान्तर में युजित होते हैं, तब प्रत्येक के आरपार वोल्टता उतनी ही होगी और इस प्रकार अनुनादित दशा के लिये धाराओं का संतुलन आवश्यक है। यदि प्रतिकारिता और रोध का अनुपात अधिक हो, जैसा अधिकांश रेडियो परिपथों में होता है, तब समानान्तर और माला युजन दोनों के लिये ही अनुनाद वारंवारता लगभग बराबर होगी।

माला अनुनाद परिपथ (Series Resonant Circuits)

चित्र 7-22 के अवबाधिता रेखाचित्र को देखने से यह पता लगेगा, कि सम अवबाधिता, धारित्र अथवा कुंडल दोनों ही की अवबाधिताओं से काफ़ी कम है। साथ ही, यदि एक विचरणशील धारित्र प्रयोग किया जाय और इसकी धारिता को वढ़ाया जाय, तो धारि प्रतिकारिता घटेगी। ऐसा तब तक किया जा सकता है, जब तक धारि प्रतिकारिता, प्ररोचि प्रतिकारिता के बराबर हो जाय। उस समय परिपथ अवबाधिता केवल रोध के बराबर हो जायगी (जो कि इस दृष्टान्त में ११ ओम है)। ऐसी अवस्था में परिपथ अनुनाद में होगा।

माला परिपथ को उस समय अनुनादित कहा जाता है, जब कि परिपथ की प्ररोचि प्रतिकारिता, धारि प्रतिकारिता का ठीक निष्फलन कर दे, जिससे कि सम

अवबाधिता केवल रोध के कारण ही हो। व्यवहार में यह अवस्था धारित्र की धारिता का विचरण कर अथवा कुंडल की प्ररोचिता का विचरण कर अथवा वारंवारता का विचरण कर प्राप्त की जा सकती है। ऊपरवाली किसी भी अवस्था में परिपथ के रोध को साधारणतया स्थिर माना जा सकता है, और तब सदैव ही, परिपथ अवबाधिता का रोध संघटक स्थिर होगा। इसका तात्पर्य यह है, कि चाहे किसी प्रकार भी प्रतिकारिताओं का विवर्तन किया जाय, चित्र

चित्र 7-26 : **माला अनुनाद--विचरणशील वारंवारता**

7-26 (a) में परिपथ अवबाधिता रेखा mn पर ही रहेगी। यदि प्ररोचि प्रतिकारिता बड़ी होगी तब प्रतिकारिता अक्ष (Axis) के ऊपर स्थित होगी, जैसा Z_L नामक अवबाधिताओं से देशित किया गया है। यदि धारि प्रतिकारिता बड़ी है, तो अवबाधिता Z_C नामक दिष्टों में से किसी एक से देशित होगी। यदि वे बराबर हों, तब अवबाधिता, R के बराबर हो जायगी। चित्र 7-26 (c) में यह दिखाया गया है, कि वारंवारता के बदलने के साथ-साथ परिपथ में धारा किस प्रकार विचरण करती है (यदि आरोपित वोल्टता स्थिर हो)। अनुनाद वारंवारता पर धारा अधिकतम हो जाती है, जैसा कि वक्र पर I_R द्वारा देशित किया गया है। परन्तु यह बहुत अधिक नहीं बढ़ती और न ही शिखर बहुत तीक्ष्ण होता है। चित्र 7-26 (b) में वही परिपथ, काफ़ी कम रोध के साथ दिखाया गया है।

यह देखा जाता है, कि जैसे-जैसे अनुनाद के पास पहुँचते हैं, धारा का मान कहीं अधिक परिमाण में बढ़ जाता है और वारंवारता के बदलने के कारण,

प्रतिकारिता में थोड़ा-सा परिवर्तन भी अवबाधिताओं में कहीं अधिक परिवर्तन कर देता है। इसलिये वक्र, रोध के कम होने पर, कहीं अधिक ढलवाँ हो जाता है।

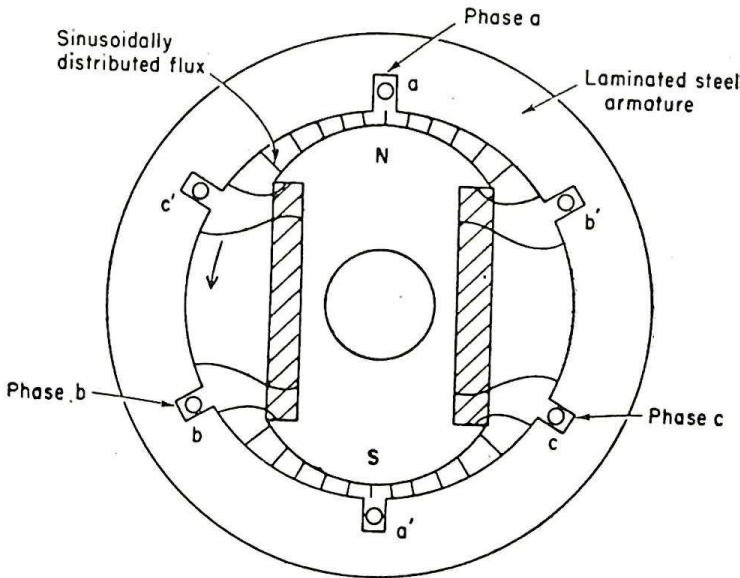
रेडियो परिपथों में यह आवश्यक है, कि उन बहुत-सी रेडियो संज्ञप्तियों (Radio Signals) में से जो एन्टीना (Antenna) को ऊर्जित (Energise) करती हैं, किसी एक वारंवारता ही को चुना जाय। इसलिये ऐसे परिपथों की आवश्यकता होती है, जो केवल एक वारंवारता को ही पारण (Pass) करें और शेष सब के लिये कम प्रतिचारण करें। इस कारण, ऐसे परिपथों का होना वांछनीय है, जिनमें प्रतिकारिता और रोध का अनुपात बड़ा हो।

आठवाँ अध्याय

बहुफ़ेज़ी प्रत्यावर्ती धारा परिपथ

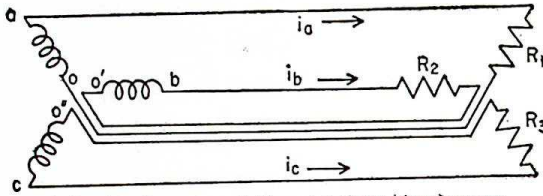
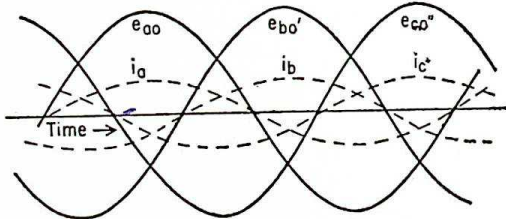
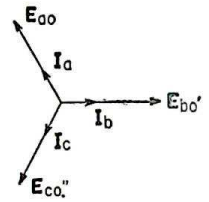
(POLYPHASE ALTERNATING-CURRENT CIRCUITS)

त्रिफ़ेज अवधारणाएँ

यद्यपि एकीफ़ेज़ (Single Phase) प्र० धा० परिपथ, बहुत-सी मापन युक्तियों, तापन एवं संधान (Welding) प्रयुक्तियों और विद्युत् प्रभासन् (Electric Illumination) तथा दूसरे इसी प्रकार के उपयोगों में मुख्यत: प्रयोग होते हैं, तथापि अधिकांश शक्तितन्त्र (Power-Systems) तीन फ़ेज़ के ही होते हैं।

चित्र 8-1 : **एक सरल दो ध्रुवीय, त्रिफेज, प्र० धा० जनित्र। कुंडल 120° के अन्तर पर स्थित हैं**

वोल्टाताओं का ऐसा तन्त्र, एक प्र० धा० जनित्र द्वारा, कुंडलों को 120° के अन्तर पर स्थित करके, उत्पन्न किया जा सकता है, जैसा चित्र 8-1 में दिखाया गया है। इस सरल जनित्र में एक परिभ्रमणशील विद्युच्चुम्बक (Rotating Electromagnet) की प्ररचना इस प्रकार की जाती है, कि वह धात्र के चारों ओर ज्यावर्ती विचरणशील चुम्बकीय स्यंद उत्पन्न करे, जैसा स्यंद रेखाओं की स्थिति से दिखाया गया है। जैसे-जैसे कुंडल *aa'*, *bb'* और *cc'* क्रमश:

वायु विच्छद स्यंद को काटते हैं, उनमें चित्र 8-2 के अनुसार बहुफ़ेज़ीय वोल्टतायें जनित होती हैं।

प्रत्येक कुंडल अथवा फ़ेज़ को, एकीफ़ेज़ जनित्र के रूप में समझा जा सकता है; और उनको चित्र 8-2 (a) के अनुसार युजित किया जा सकता है। प्रत्येक फ़ेज़ दूसरे से काल-प्रावस्था (Time-Phase) में 120° विलगित होता है। 50 चक्रीय तंत्र में, ये फ़ेज़ अपने अधिकतम मान पर $\frac{1}{150}$ सेकंड बाद नियमित क्रम से आते हैं। यह चित्र 8-2 (b) में देशित किया गया है।

(a) Circuit representation of a three phase power source and a balanced resistive load.

(b) Instantaneous voltages and currents in the above circuits.

(c) The vector diagram of the voltages and currents in (a) and (b) at left.

चित्र 8-2 : **संतुलित स्वतन्त्र भारों के लिये स्वाधीन परिपथों वाला त्रि-फेज़ शक्ति प्रभव**

(a) त्रिफेज़ शक्ति प्रभव एवं संतुलित रोध भारों का परिपथ निरूपण।
(b) उपर्युक्त परिपथों में तात्क्षणिक वोल्टता और धारायें।
(c) वोल्टता तथा धाराओं का दिष्ट रेखाचित्र।

e_{ao} का धनात्मक वोल्टता देशन, यह देशित करता है कि बिन्दु o की अपेक्षा, बिन्दु a, शक्म में अधिक धनात्मक है। जब रेखाचित्र में यह वोल्टता ऋणात्मक हो जाती है, तो उससे यह देशित होता है कि बिन्दु a, बिन्दु o की अपेक्षा ऋणात्मक है। जब o की अपेक्षा a अधिक धनात्मक होता है तो धारा, i_a द्वारा अंकित बाण की दिशा में प्रवाहित होगी 'जिससे कि रेखाचित्र में e_{ao} के धनात्मक होने पर i_a भी धनात्मक होगी। विश्लेषण को सरल बनाने के लिये, संवाहक a और o के आरपार एक रोधक R_1 मान लिया जाता है' जिसके कारण परिपथ में धारा वोल्टता के साथ प्रावस्था में होगी।

o' और b के बीच का वोल्टता प्रभव, वोल्टता $e_{bo'}$ देगा जिसका परिमाण e_{ao} के बराबर होगा, परन्तु वह अपने अधिकतम मान पर $\frac{1}{150}$ सेकंड अथवा

काल प्रावस्था में 120° बाद में पहुँचेगा। यह परिपथ रोध R_2 से युजित है जो कि R_1 के बराबर मान का ही रोधक है। इसके परिणामस्वरूप एक धारा i_b प्रवाहित होगी जो परिमाण में i_a के बराबर होगी, परन्तु e_{bo}' से प्रावस्था में होगी।

इसी प्रकार o'' और c के बीच भी एक वोल्टता प्रभव है, जो वोल्टता e_{co}'' जनित करता है। इसका परिमाण भी e_{ao} के बराबर है, परन्तु अपने अधिकतम मान पर $\frac{2}{150}$ सेकंड अथवा काल प्रावस्था में 240° बाद में पहुँचती है। परिपथ के आरपार युजित रोधक R_3 में धारा i_c होगी जो परिमाण में i_a के बराबर होगी, परन्तु e_{co}'' से प्रावस्था में होगी।

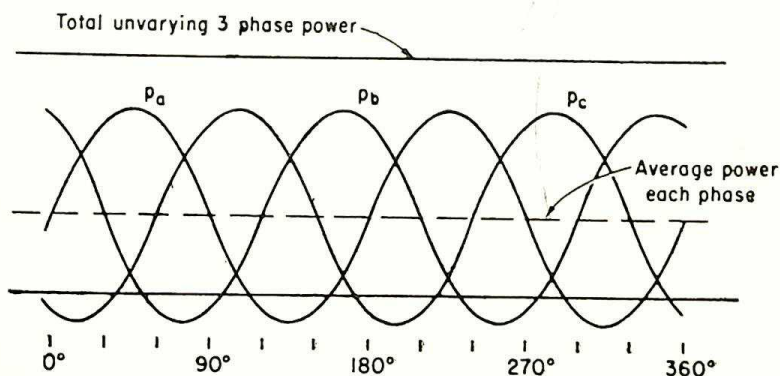
इस प्रकार वोल्टता e_{ao} वोल्टता e_{co}'' से $\frac{1}{150}$ सेकंड अथवा 120° अनुगामी होगी। यह क्रम निरंतर बना रहेगा और प्रत्येक फ़ेज़ दूसरे से 120° अनुगामी रहेगा। इसी प्रकार धारायें भी एक दूसरे से 120° द्वारा विलगित होंगी यदि भार की अवबाधिता प्रत्येक फ़ेज़ में एक ही हो।

चित्र 8-2 (c) में वोल्टता तथा धाराओं का दिष्ट रेखाचित्र दिखाया गया है। प्रत्येक फ़ेज़ में तात्क्षणिक शक्ति स्पन्दनशील (Pulsating) होगी जैसा सातवें अध्याय में दिखाया गया था। औसत शक्ति केवल धारा तथा

Total unvarying 3 phase power

p_a p_b p_c

Average power each phase

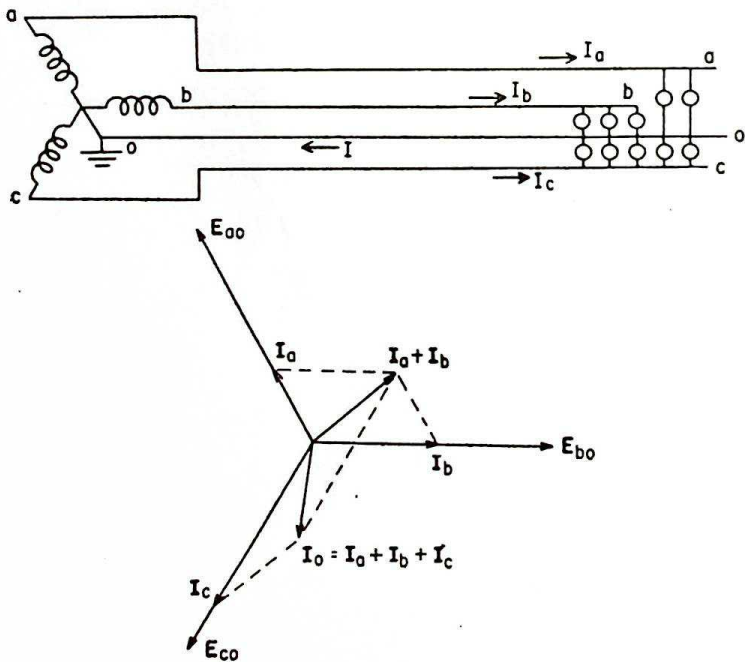
0° 90° 180° 270° 360°

चित्र 8-3 : **तीन फेज़ों पर तीन संतुलित एकीफेज़ भार, अलग-अलग विचरणशील तात्क्षणिक शक्ति उत्पन्न करते हैं, परन्तु कुल शक्ति एकसम होती है**

वोल्टता पर ही निर्भर नहीं करती, वरन् शक्ति खंड पर भी निर्भर करती है। जब तीनों फ़ेज़ों की (जिनमें धारा तथा वोल्टतायें संतुलित हों)* तात्क्षणिक शक्तियाँ रेखांकित की जाती हैं, तो यह पाया जाता है, कि तीनों फ़ेज़ों में शक्ति का तात्क्षणिक योग एकसम रहता है। यह स्थिर मान, प्रत्येक फ़ेज़ की औसत शक्ति का तीन गुना होता है। इसलिये फ़ेज़ों का यह क्रम जनित्र से भार तक

* एक त्रिफ़ेज तन्त्र में, धारा तथा वोल्टतायें तब संतुलित कही जाती हैं जब वे प्रत्येक फ़ेज में उसी परिमाण की होती हैं तथा काल प्रावस्था में 120° विलगित होती है।

शक्ति का निरंतर प्रदाय करता है। यह महत्वपूर्ण है, क्योंकि त्रिफ़ेज़ वर्तनों से, अच्छे एवं सस्ते जनित्र तथा मोटरों का निर्माण संभव है। इन मशीनों की बनावट तथा उनका पर्यालोचन, आगे के अध्यायों में दिया गया है। इस अध्याय का उद्देश्य, विभिन्न प्रकार से संयुजित धारा तथा वोल्टताओं के सम्बन्ध का अध्ययन है।

त्रिफ़ेज़ चार-तार परिपथ (Three-Phase Four-Wire Circuits)

चित्र 8–2 में यदि o, o' और o'' द्वारा अंकित तार, दोनों सिरों पर (शक्ति प्रभव पर भी और भार पर भी) युजित कर दिये जायँ तो व्यक्तिगत फ़ेज़ों की वोल्टता सम्बन्धों में कोई अन्तर नहीं आयेगा। तब यह त्रिफ़ेज़ चार-तार तन्त्र बन जाता है जैसा चित्र 8–4 में दिखाया गया है। चित्र 8–2 के फ़ेज़ तार a, b और c में धारा वही रहेगी। तथापि वापसी तार में धारा, फ़ेज़ तारों की धाराओं का दिष्ट योग हो जायगी। चित्र 8–2 के संतुलित परिपथ में इन धाराओं का दिष्ट योग तथा तात्क्षणिक योग दोनों ही शून्य होंगे। इसलिये क्लीव (Neutral) तार में कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी।

चित्र 8-4 : **असंतुलित प्रभासन भार का त्रि-फ़ेज़ चार-तार परिपथ**

यदि अलग-अलग फ़ेज़ों में भार संतुलित न हों, जैसा चित्र 8-4 में दिखाया गया है (जिसमें फ़ेज़ a के आर-पार 2 दीप, फ़ेज़ b के आर-पार 3 दीप तथा फ़ेज़ C के आर-पार 5 दीप युजित किये गये हैं); तो क्लीव तार में धारा फ़ेज़

धाराओं का दिष्ट योग होगी। यह चित्र 8-4 के दिष्ट रेखाचित्र में दिखाया गया है। यद्यपि भार बहुत ही अधिक असंतुलित है; तब भी क्लीव तार में धारा काफ़ी कम होगी। इसलिये, सामान्यतः, क्लीव तार का आकार फ़ेज़ तार के आकार से बड़ा नहीं होता। इस प्रकार ताँबे में काफ़ी बचत हो जाती है और साथ ही क्लीव तार में शक्ति हानि भी कम होती है।

शक्ति प्रदाय का यह तन्त्र, औद्योगिक क्षेत्र में विस्तृत रूप से प्रयुक्त होता है, क्योंकि इसमें एक ही तन्त्र से प्रभासन और मोटरों के भार को शक्ति प्रदाय करना संभव है। इस व्यवस्था में प्रत्येक फ़ेज़ की वोल्टता 230 वोल्ट होती है और दीपों को किसी भी फ़ेज़ तार तथा क्लीव तार के बीच से प्रदाय किया जा सकता है। भार का संतुलित होना आवश्यक नहीं है, किन्तु वांछनीय है; क्योंकि क्लीव तार में शक्ति हानि कम हो जाती है; तथा श्रेष्ठतर तन्त्र वोल्टता प्राप्त होती है। किसी फ़ेज़ में वोल्टता पात निकालने के लिये फ़ेज़ में हुए पात को क्लीव तार में हुए पात से दिष्ट विधि से जोड़ना आवश्यक है। भार के अवसानों के आर-पार वोल्टता निकालने के लिये, इस पात को प्रभव वोल्टता में से दिष्ट विधि से (Vectorially) घटाना पड़ता है।

अभ्यास 8-1 : त्रिफ़ेज़, चार तारवाली एक लाइन, 200 फ़ीट लम्बी है। सब तार 8 नम्बर (*AWG*)* ताँबे के हैं। (*i*) यदि *a* फ़ेज़ अकेला ही दीपों के लिये 35 अम्प० का भार प्रदाय करता हो, और प्रभव वोल्टता 230 वोल्ट प्रति फ़ेज़ हो, तो दीपों के आर-पार कितनी वोल्टता प्राप्त होगी ? (*ii*) जब प्रत्येक फ़ेज़ दीपों के लिये 35 अम्प० धारा प्रदाय कर रहा हो, तो दीपों के आर-पार कितनी वोल्टता होगी ?

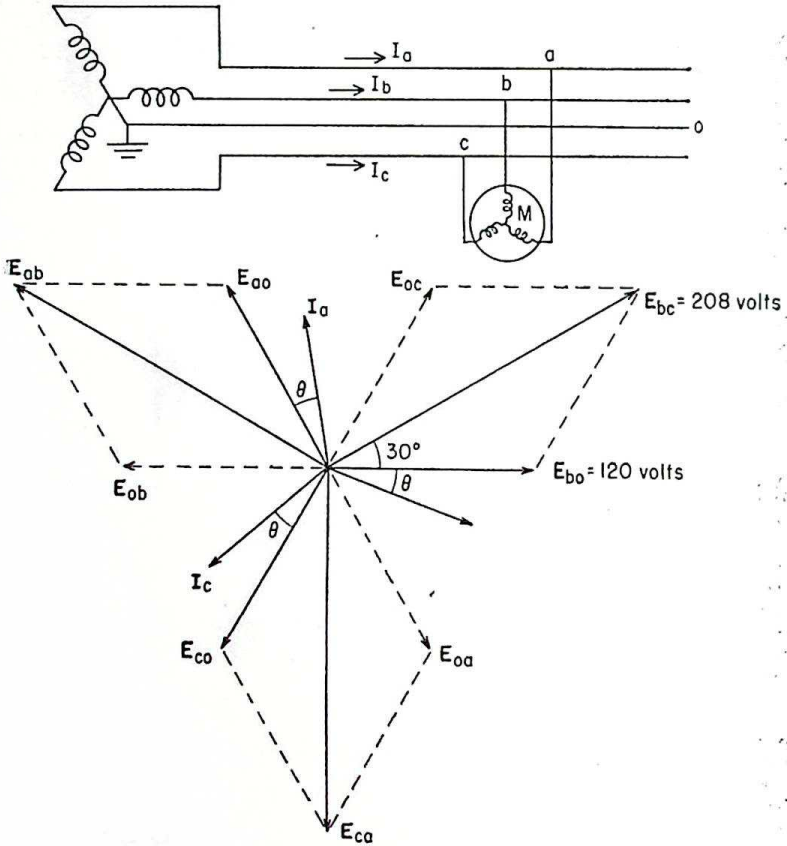
जब त्रिफ़ेज़ चार-तार शक्ति तन्त्र, किसी मोटर को शक्ति प्रदाय करने के लिये प्रयुक्त किया जाता है, जैसा चित्र 8-5 में दिखाया गया है, तब मोटर वर्तन को, केवल फ़ेज़ तारों से ही युजित किया जाता है। चूँकि धारायें संतुलित होती हैं, इसलिये उनका दिष्ट योग सदैव शून्य होता है और क्लीव तार की कोई आवश्यकता नहीं रह जाती। मोटर वर्तनों में प्ररोचिता भी होती है, इसलिये ये धारायें अपनी उत्पन्न करनेवाली वोल्टताओं से θ जैसे किसी शक्ति खंड कोण द्वारा अनुगामी होंगी।

Y–युजित मोटर के अवसानों की वोल्टता, प्रत्येक फ़ेज़ के 230 वोल्ट से अधिक होगी। फ़ेज़र रेखाचित्र में यह दिखाया गया है कि a और b के बीच की वोल्टता E_{ao} और E_{ob} के योग के बराबर होगी। रेखाचित्र से पता लगता है कि समद्विबाहु त्रिकोण (Isosceles Triangle), (जिसकी आधार भुजा

* भारत में, सामान्यतः, ताँबे के तारों का आकार *SWG* (Standard Wire Gauge) के आधार पर प्रमापित होता है।

E_{bc} है तथा E_{bo} दूसरी भुजा है), के आधार कोण 30° के हैं। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि :

$$E_{bc}=\sqrt{3}\,E_{bo}=\sqrt{3}\times 220=280 \text{ वोल्ट}$$

तीनों तार *a*, *b* और *c* को, एक त्रिफ़ेज़ प्रभव के रूप में माना जा सकता है, जिसकी लाइन वोल्टता 380 वोल्ट है। लाइन धारायें, लाइन वोल्टता से

चित्र 8-5 : **एक त्रिफ़ेज मोटर को प्रदाय करता हुआ त्रिफ़ेज चार-तार शक्तितन्त्र**

एक ऐसे कोण द्वारा अनुगामी होंगी जो 30° तथा शक्ति खंड कोण के बराबर होगा। फ़ेज़र लाइन धारा तथा फ़ेज़र लाइन वोल्टता का यह सम्बन्ध प्रारम्भिक विद्यार्थियों को भ्रम उत्पन्न कर देता है, इसलिये इस रेखाचित्र के विकास को अच्छी प्रकार स्पष्ट रूप से समझ लेना बहुत महत्वपूर्ण है।

जब प्रकाश भार (Lighting Load) तथा मोटरें दोनों एक ही परिपथ से प्रदाय की जाती हैं तो क्लीव तार में धारा उतनी ही होती है, जितनी कि अकेले प्रकाश भार के कारण। ऐसे तन्त्र में शक्ति मापन के लिये प्रत्येक फ़ेज़ द्वारा प्रदत्त शक्ति, अलग-अलग मापना आवश्यक है। इसका तात्पर्य है, कि तीन वाटमीटरों का प्रयोग करना होगा। उनका धारा कुंडल, लाइन तार में;

तथा शक्म कुंडल (Potential Coil), लाइन तथा क्लीव तार के बीच युजित किया जाता है।

त्रिफ़ेज़ त्रितार परिपथ (Three Phase Three Wire Circuits)

संतुलित भार : त्रिफ़ेज़ त्रितार परिपथ का एक रूप चित्र 8-5 में दिखाई गई युजन विधि से प्राप्त किया जाता है। यह देखा जाता है, कि क्लीव तार से कोई युजन नहीं किया गया है, इसलिये इसे छोड़ा जा सकता है। यह युजन एक Y बनाता है, इसलिये इसे Y-(अथवा 'वाई') युजित परिपथ कहा जाता है। Y-युजित प्रभव का प्रयोग करनेवाले अधिकांश वाणिज्यिक परिपथों की वोल्टता काफ़ी ऊँची होती है। तन्त्र वोल्टता, सामान्यत: लाइन से लाइन वोल्टता (जिसको साधारणतया केवल लाइन वोल्टता ही कहते हैं) द्वारा निर्धारित की जाती है। उस दशा में फ़ेज़ वोल्टता (अथवा लाइन से भूमि के बीच की वोल्टता), लाइन वोल्टता को $\sqrt{3}$ से भाग देने पर प्राप्त होती है। इस प्रकार, 60,000 वोल्ट की लाइन की फ़ेज़ वोल्टता केवल $60,000/\sqrt{3}=34,600$ वोल्ट है। अधिकतर दशाओं में लाइन से भूमि तक की वोल्टता के लिये ही विसंवाहित करना आवश्यक होता है। इसलिये इस तन्त्र के प्रयोग से, विसंवाहक आदि के मूल्य में काफ़ी बचत हो जाती है।

इस तन्त्र में शक्ति, विभिन्न फ़ेज़ों में शक्ति के योग के बराबर होती है; और चूँकि ये बराबर होती हैं, इसलिये,

$$P=3\ E_{bo}\ I_b \cos\theta.$$

साधारणतया, व्यवहार में शक्ति को लाइन वोल्टता के आधार पर देशित किया जाता है और चूँकि $E_{bc}=\sqrt{3}\ E_{bo}$.

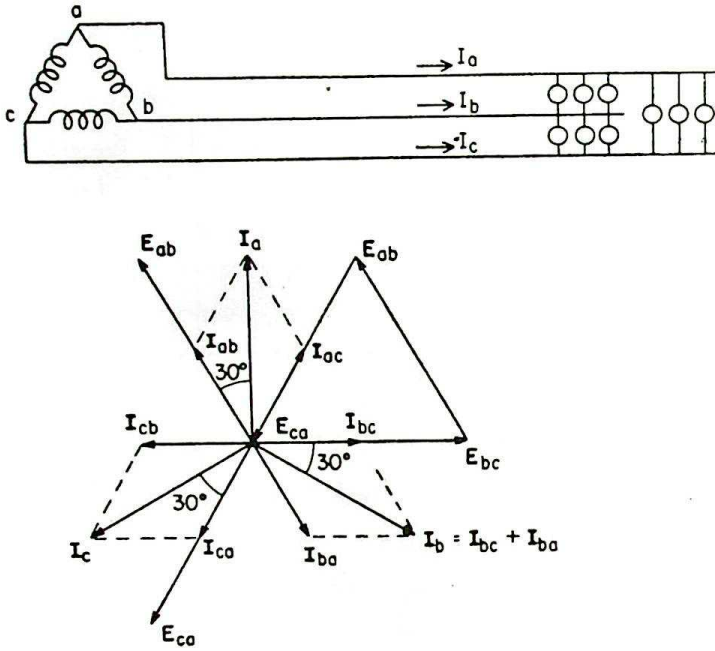
$$\therefore \quad P=\sqrt{3}.\sqrt{3}\ E_{bo}\ I_b \cos\theta$$

$$=\sqrt{3}\ E_{bc}\ I_b \cos\theta$$

चूँकि धारा तथा वोल्टता दोनों ही लाइन राशियाँ है, इसलिये पादाक्षरों (Subscripts) का विलोप करके

$$\therefore \quad P=\sqrt{3}\ EI\cos\theta$$

फ़ेज़ वोल्टताओं के युजन की विकल्प विधि, वलय (Ring) अथवा अक्षि (Mesh) के रूप में है। इस प्ररूप के परिपथ का रेखाचित्र, यूनानी अक्षर Δ (डेल्टा) के समान है; इसलिये ऐसे परिपथ, डेल्टा युजित कहे जाते हैं। चित्र 8–6 में यह देखा जाता है कि परिपथ की चारों ओर की वोल्टताओं का दिष्ट योग शून्य है। इसलिये भार के वियुजित हो जाने पर, शक्ति प्रभव के वर्तनों में, धारा प्रवाह नहीं होगा। साथ ही लाइन वोल्टता फ़ेज़ वोल्टता के बराबर है।

जब इस तन्त्र से कोई भार युजित किया जाता है, तब यदि भार केवल रोध ही हो, तो धारायें, वोल्टता के साथ प्रावस्था में होंगी। चित्र 8–6 में दिखाये

चित्र 8-6 : **शक्ति प्रदाय का एक त्रिफेज, त्रितार डेल्टा युजित तन्त्र**

गये प्रकाश भार के लिये, धारायें, वोल्टता के साथ प्रावस्था में होंगी। तथापि लाइन धारायें, लाइन से युजित फ़ेज़ों की व्यक्तिगत फ़ेज़ धाराओं के दिष्ट योग के बराबर होंगी ; जैसा कि फ़ेज़र रेखाचित्र में दिखाया गया है। दृष्टान्त के लिये लाइन b में धारा, b से c और b से a की ओर वहनेवाली फ़ेज़ धाराओं के योग के बराबर है। रेखाचित्र में I_{bc} और I_{ba} के दिष्ट योग से I_b का मान प्राप्त होता है। (धारा I_{ba}, I_{ab} का विपरीत अथवा ऋणात्मक मान है। यह धारा, लाइन वोल्टता E_{bc} से 30° अनुगामी है। Y–युजित परिपथ में (चित्र 8–5) देखा गया था कि लाइन धारा, लाइन वोल्टता से 30°+शक्ति खंड कोण द्वारा अनुगामी थी। यह △ परिपथ के निष्कर्ष को पुष्ट करता है, क्योंकि चित्र 8-6 में इकाई शक्ति खंड भार कल्पित किया गया था।

△ परिपथ में शक्ति, अलग-अलग फ़ेज़ों की शक्ति के योग के बराबर है।

$$P = 3E_{bc}\, I_{bc}$$

(चूंकि रेखाचित्र में इकाई शक्ति खंड का भार माना गया है।) दूसरे शक्ति खंडोंवाले संतुलित भारों के लिये, इसमें शक्ति खंड राशि का समावेश करना आवश्यक है। इस प्रकार,

$$P = 3E_{bc}\, I_c \cos\theta$$

रेखाचित्र से $I_b = \sqrt{3}\, I_{bc}$

$$\therefore \quad P = \sqrt{3}\, E_{bc} . I_b \cos\theta$$
$$= \sqrt{3} EI . \cos\theta$$

यह भी Y–युजित परिपथ के समान ही है। इसलिये यह माना जा सकता है कि त्रिफ़ेज़, त्रितार परिपथ में, त्रिफ़ेज़ शक्ति

$$P = \sqrt{3}\, EI \cos\theta$$

जहाँ E लाइन वोल्टता, I लाइन धारा तथा θ शक्ति खंड कोण है।

अभ्यास 8-2 : 100 ओम रोध तथा 173·2 ओम प्ररोचित प्रतिकारिता के तीन भार Y युजित हैं तथा 2300 वोल्ट की संतुलित लाइन से लगा दिये गये हैं।

(a) लाइन धारा, (b) भार द्वारा ली गई कुल शक्ति, (c) कुल KVA निकालिये।

अभ्यास 8-3 : 230 वोल्ट की त्रिफ़ेज़ लाइन से 25 अश्व-शक्ति की मोटर द्वारा पूर्ण भार पर कितनी धारा ली जायगी। मोटर की दक्षता 0·85 है और यह 0·87 शक्ति खंड पर प्रवर्तन करता है।

अभ्यास 8-4 : 10 KVA की त्रिफ़ेज़ भट्टी को 400 वोल्ट पर शक्ति प्रदाय करने के लिये किस आकार के तारों की आवश्यकता होगी? शक्ति 350 फीट की दूरी पर प्रदाय की जाती है। इस दशा में कितना वोल्टता पात होगा? भट्टी को प्रदाय होनेवाली ऊर्जा पर इस वोल्टता पात का क्या प्रभाव होगा?

त्रिफ़ेज़ त्रि-तार असंतुलित भार

एक त्रिफ़ेज़ परिपथ में, तीन में से किन्हीं दो तारों के आर-पार, एकीफ़ेज़ भार का युजन करना संभव है। परन्तु लाइन वोल्टता, भार प्रयुक्ति (Load Device) के क्षमित (Rated) वोल्टता के तदनुरूप होनी चाहिये। इस दशा में, लाइन धारायें, लाइन तार द्वारा प्रदत्त दो फ़ेज़ों की धारा के दिष्ट योग (अथवा अन्तर) के बराबर होगी। असंतुलित बहुफ़ेज़ीय परिपथों का समाधान करना इस पुस्तक के क्षेत्र के बाहर है।

त्रिफ़ेज़ से अन्य बहुफ़ेज़ी परिपथ

यद्यपि बहुफ़ेज़ी विन्यासों में, त्रिफ़ेज़ परिपथ सबसे अधिक महत्वपूर्ण है; तथापि कभी-कभी प्रयोग किये जाते हैं। उदाहरणतया, एक बड़े नगर के वभाजन तन्त्र (Distribution System) में चार फ़ेज़ों का तथा एक क्लीव तार का प्रयोग किया जाता है। चारों फ़ेज़, एक दूसरे से, काल प्रावस्था में 90° के अन्तर पर स्थित होते हैं। चूंकि एकान्तरित (Alternate), दो फ़ेज़ एक दूसरे के विपरीत होते हैं, इसलिये दोनों को एक ही परिवर्तित्र से प्राप्त

करना संभव है। इस कारण ऐसे तन्त्र को कभी-कभी द्विफ़ेज़ तन्त्र भी कहा जाता है।

बड़े औद्योगिक ऋजुकारियों* (Rectifiers) के लिये शक्ति प्रदाय, सामान्यतः, 6 फ़ेज़ों में विभक्त होती है। ये फ़ेज़, काल प्रावस्था में, एक दूसरे से 60° के अन्तर पर स्थित होते हैं। और भी अधिक बाहुल्यता (Multiplicity) में फ़ेज़ प्राप्त करना संभव है, जैसे 12 फ़ेज़। परन्तु ये इस पुस्तक में वर्णित नहीं किये जायँगे।

* चौदहवें अध्याय में ऋजुकारियों का पर्यालोचन देखिये।

नवाँ अध्याय

प्रत्यावर्ती धारा मापन

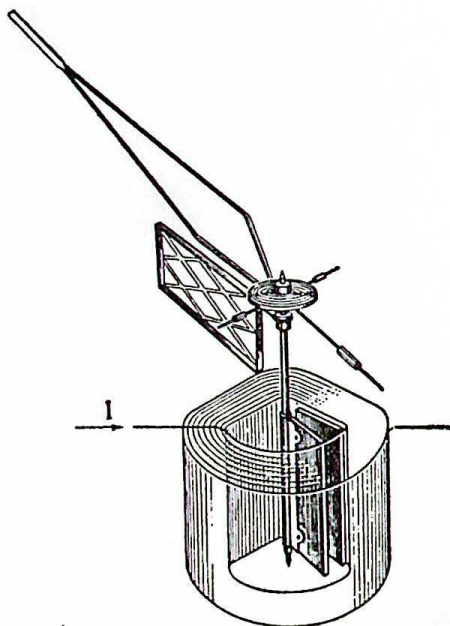
(ALTERNATING CURRENT MEASUREMENT)

धारा तथा वोल्टता मापन

अव्यवहित धारा के सम्बन्ध में अध्ययन किये गये विद्युत् मापन के बहुत-से मूलभूत सिद्धान्त, प्रत्यावर्ती धाराओं के लिये भी उपयुक्त होते हैं। परन्तु मापन उपकरणों में, तथा उनके पाठ्यांकों की व्याख्या करने के लिये, उनमें परिवर्तन करना आवश्यक है। पहली कठिनाई यह है, कि 'स्थायी चुम्बक-चलन-कुंडल' प्ररूप के उपकरण पर, प्र० धा० द्वारा उत्पन्न विभ्रमिषा शून्य होगी। ये उपकरण अ० धा० मापनों के लिये विस्तृत रूप से प्रयोग किये जाते हैं; परन्तु प्र० धा० में प्रयोग नहीं हो सकते। दूसरे, शक्ति मापन, वाटमीटर से करना आवश्यक है; क्योंकि प्र० धा० परिपथ में धारा तथा वोल्टता का गुणनफल, शक्ति का माप नहीं रह जाता; और उसे शक्ति खंड से गुणा करना पड़ता है। तीसरे, बहुफ़ेज़ी परिपथ, मापन की विशिष्ट समस्यायें उपस्थित करते हैं। इनके अतिरिक्त अन्य समस्यायें भी हैं, किन्तु ये ही सर्वसामान्य एवं महत्वपूर्ण हैं।

अव्यवहित धारा की भाँति, प्रत्यावर्ती धारा एवं वोल्टता का मापन वस्तुतः धारा का ही मापन है। डायनेमो-मीटर प्ररूप का मीटर, अ० धा० और प्र० धा० दोनों पर ही समान रूप से ठीक-ठीक प्रवर्तन करेगा, क्योंकि कुंडल में धारा की दिशा बदलने पर चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा भी उल्टी हो जाती है। अतः इस प्ररूप के वोल्टमीटर में, चलन कुंडल क्षेत्र कुंडल के साथ माला में युजित होता है और परिणामी विभ्रमिषा धारा प्रवाह के वर्ग तथा वोल्टता के वर्ग के समानुपाती होती है। जब इस प्ररूप के उपकरण का उपयोग धारा मापन के लिये होता है तब बहुधा अधिकांश धारा को चलन कुंडल से पार्श्ववाहित (Shunt) करना आवश्यक होता है। इस पार्श्वायन की अवबाधिता में प्रेरोचिता और रोध का अनुपात उतना ही होना चाहिये, जितना कि चलन कुंडल में; जिससे कि चलन कुंडल में धारा, क्षेत्र कुंडल की धारा के साथ प्रावस्था में रहे। डायनेमोमीटर प्ररूप के उपकरण, शक्ति वारंवारताओं के लिये अति श्रेष्ठ होते हैं, परन्तु अधिक मूल्यवान होते हैं। इस कारण, ये, प्रमाणिक मीटरों तथा उच्च परिशुद्धता की अन्य प्रयुक्तियों के अतिरिक्त, सामान्यतः, प्रयोग में नहीं लाये जाते।

धारा तथा वोल्टता मापन के लिये, प्रयोग में लाये जानेवाले एक अधिक सामान्य प्ररूप के उपकरण, लौह-वेन प्ररूप (Iron-Vane Type) के मीटर कहलाते हैं। यद्यपि ये विभिन्न रूपों में बनते हैं, तथापि सभी में एक लक्षण

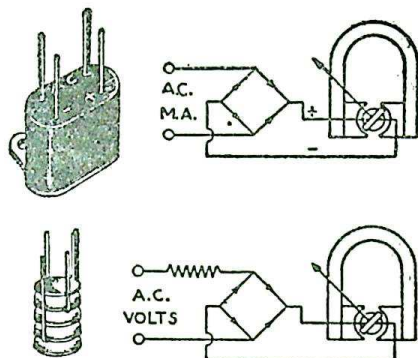
सामान्य होता है : सबमें चलन अंशक (Moving Elements) ईषा (Shaft) और संकेतक (Pointer) से जुड़ी, एक नरम लोहे की वेन होती है जो मणिकित भारुओं पर आरोहित होती है। प्रत्यास्थापक (Restoring) विभ्रमिषा, कमानी द्वारा प्रदत्त होती है। मापी जाने वाली धारा एक स्थिर कुंडल में से होकर बहती है, जो धारा के परिमाण के समानुपाती परिमाण का चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती है। इस मीटर के एक एक प्ररूप में, ईषा पर अभिनत लोहे की एक अथवा दो वेन होती हैं। कुंडल इस प्रकार अभिनत होता है, कि, चुम्बकीय क्षेत्र के तीव्र होने पर, वेनों को कुंडल अक्ष (Coil Axis) के साथ अधिकाधिक एक रेखा में ले आने के लिये ईषा घूमती जाती है। ऐसे मीटर को 'अभिनत कुंडल आकर्षण प्ररूप' का मीटर कहते हैं।

चित्र 9-1 : **लौह वेन प्ररूप का मीटर**

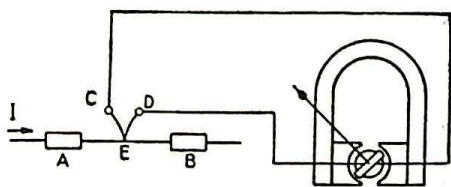
दूसरे प्ररूप में, एक स्थिर तथा एक चलनशील नरम लोहे की एक पट्टिका होती है, जैसा चित्र 9-1 में दिखाया गया है। इस रचना में जब धारा कुंडल में से होकर बहती है तब एक सिरे पर उत्तरी ध्रुव और दूसरे सिरे पर दक्षिणी ध्रुव उत्पन्न हो जाते हैं। दोनों पट्टिकाओं की ध्रुविता एक ही होती है, इसलिये वे एक दूसरे को प्रतिकर्षित करती है। दोनों पट्टिकाओं में ध्रुविता का उत्क्रमण शीघ्रता से, और एक ही साथ होता है। इसलिये प्रतिकर्षण की क्रिया सदैव एक ही दिशा में विभ्रमिषा उत्पन्न करती है।

जब ऐसे मीटरों का प्रयोग वोल्टमीटर के रूप में होता है, तो कुंडल बारीक तार के अधिक वर्तों से बना होता है। जब ये अम्मीटर के रूप में प्रयोग होते हैं, तब वर्त मोटे तार के होते हैं, और संख्या में कम होते हैं। विभ्रमिषा, लगभग धारा के वर्ग के समानुपाती होती है। इसलिये साधारणतया, मापनी अल्प मानों पर संकुचित होती है। लौह वेन प्ररूप के मीटरों की कुछ विशिष्ट प्ररचनाओं में इस प्रकार के मापनी विभाजन का व्यवस्थापन किया जा सकता है, कि एकसम मापनी प्राप्त हो सके।

यद्यपि लौह वेन प्ररूप के मीटर सामान्य शक्ति वारंवारताओं के लिये काफ़ी संतोषप्रद होते हैं, तथापि ये उच्च वारंवारताओं के लिये उपयुक्त नहीं होते।

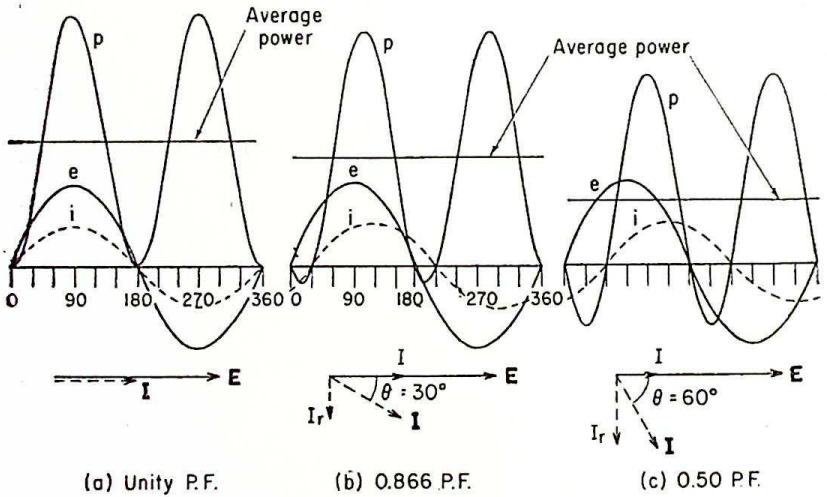
शक्ति वारंवारताओं से अधिक वारंवारता पर, ऋजुकारी प्ररूप के मीटर, अथवा तापीय युग्म (Thermo Couple) प्ररूप के मीटर प्रयोग किये जाते हैं।

ऋजुकारी प्ररूप के मीटरों में, एक प्रामाणिक स्थायी चुम्बक चलन कुंडल प्ररूप का मीटर एक पूर्ण तरंग (Full Wave) ऋजुकारी (Rectifier) के साथ प्रयोग किया जाता है। धारा तथा वोल्टता दोनों ही के मापन के लिये, ऐसे मीटरों का परिपथ विन्यास, चित्र 9-2 में दिखाया गया है। साधारणतया ऐसे मीटरों की क्षमता कुछ मिली-अम्पीयर तक ही सीमित होती है। ऋजुकारी प्ररूप के मीटर में ऊर्जा हानि, लौह वेन प्ररूप के मीटर में होनेवाली हानि का केवल थोड़ा-सा अंश ही होती है। इसलिये कभी-कभी कम वारंवारताओं पर भी उसकी अपेक्षा, इसके प्रयोग का अधिमनन किया जाता है। मापनी को यद्यपि प्रभावी वोल्ट (अथवा *RMS* वोल्ट) वाचन के लिये अंकित किया जाता है, तथापि तरंगों के अज्यावर्ती (Non-sinusoidal) होने पर इसमें अशुद्धि आ जाती है, चूँकि विभ्रमिषा ऋजुकारित धारा के औसत मान के समानुपात में होती है। श्रव्य सीमा (Audio-Range) से ऊपर की वारंवारताओं के लिये, ताम्र-ओषिद (Copper Oxide) अथवा सेलीनियम ऋजुकारियों (Selenium Rectifiers) का प्रयोग करनेवाले ऋजुकारी मीटरों का प्रयोग, साधारणतया संतोषप्रद नहीं होता। अति उच्च रेडियो वारंवारताओं (Radio Frequencies) पर स्फट ऋजुकारी (Crystal Rectifier) प्रयोग करनेवाले ऋजुकारी प्ररूप के मीटरों का प्रयोग होता है।

चित्र 9-2 : **ऋजुकारी प्ररूप के मीटर**

तापीय युग्म मीटर में, धारा एक रोधक में से होकर बहती है, जो एक सूक्ष्म तापीय युग्म को गर्म करता है। इसके कारण एक हृष (Sensitive) स्थायी चुम्बक चलन कुंडल प्ररूप के उपकरण में, एक अल्प अ० धा० प्रवाहित हो जाती है। चित्र 9-3 में ऐसे उपकरण का रेखाचित्र दिया गया है। *a* और *b* के बीच में, रोधक में बहती हुई धारा तार को तथा तापीय

चित्र 9-3 : **तापीय युग्म प्ररूप का मीटर**

युग्म की गरम सन्धि (Hot Junction) को गरम करती है। ठंढी सन्धियाँ C और D पर हैं। चूँकि मीटर केवल तापन प्रभाव पर ही निर्भर करता है, इसलिये यह उच्च वारंवारताओं के लिये विशेष रूप से उपयुक्त है। ऋजुकारी उपकरणों के समान इसमें धारा परास (Current Range) सीमित नहीं होता। संचारन तथा रेडियो मापनों के लिये, ऋजुकारी तथा तापीय युग्म मीटरों का प्रयोग विस्तृत रूप में होता है।

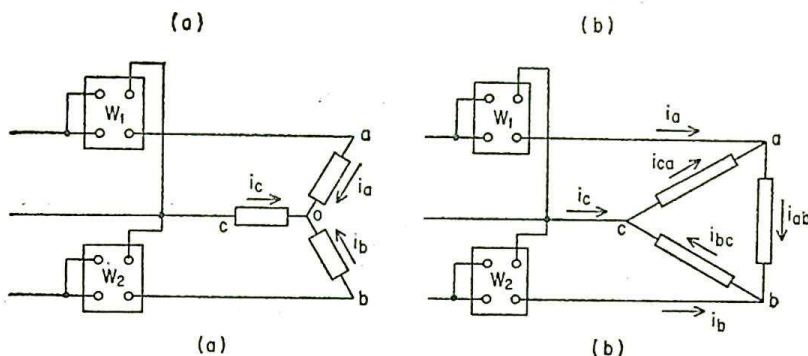
एकीफ़ेज़ शक्ति का मापन

किसी परिपथ में शक्ति प्रवाह, धारा तथा वोल्टता के तात्क्षणिक गुणन पर निर्भर करता है। इसे चित्र 9-4 में ; इकाई, 0·866 अनुगामी, 0·5 अनुगामी शक्ति खंडों के लिये दिखाया गया है।

चित्र 9-4 : विभिन्न शक्ति खंडों पर धारा, वोल्टता तथा शक्ति के तात्क्षणिक मान

डायनेमोमीटर प्ररूप के मीटर में धारा कुंडल, चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है ; और चलन कुंडल में धारा, वोल्टता के समानुपाती होती है। इसलिये इसमें विभ्रमिषा, धारा तथा वोल्टता के गुणन के समानुपाती है। इस प्रकार ऐसे मीटर में तात्क्षणिक विभ्रमिषा तात्क्षणिक शक्ति के समानुपात में होती है। अंशक की अक्रियता (Inertia), सापेक्षतया, अधिक होने के कारण, अंशक का व्याकोचन, औसत विभ्रमिषा तथा औसत शक्ति के अनुपात में होगा।

एकीफ़ेज़ त्रितार तन्त्र में शक्ति मापन के लिये दो वाटमीटरों की आवश्यकता होती है : लाइन के प्रत्येक पार्श्व (Side) के लिये एक-एक। दोनों मीटर अंशकों को एक ही ईषा पर आरोहित करना सम्भव है, जिस दशा में कुल विभ्रमिषा, अलग-अलग अंशकों की विभ्रमिषाओं के योग के बराबर होगी।

त्रिफ़ेज़, त्रितार तन्त्रों में शक्ति मापन

किसी भी त्रिफ़ेज़ त्रितार तन्त्र में शक्ति मापन, दो वाटमीटरों द्वारा, परिशुद्धता पूर्वक किया जा सकता है। यह मापन, तरंग-आकृति (Wave Form), शक्ति खंड तथा असंतुलन की मात्रा पर अवलम्बित नहीं होता। इसलिये सामान्यत: यही मापन विधि प्रयोग की जाती है। Y तथा $\triangle$ युजित भारों के लिये मीटर युजन चित्र 9-5 में दिखाये गये हैं।

चित्र 9-5 : त्रिफेज़, त्रितार तन्त्र में, दो वाटमीटरों द्वारा शक्ति मापन विधि के युजन

यह सिद्ध करने के लिये कि W_1+W_2 के वाचन से भार की वास्तविक आदा (Input) शक्ति का मान प्राप्त होता है, वाटमीटरों के ऊपर तात्क्षणिक विभ्रमिषाओं का विश्लेषण किया जायगा। इस विश्लेषण में, भार अवबाधिता अथवा उसके लक्षणों पर कोई प्रतिबंध नहीं लगाया जायगा। उदाहरणार्थ चित्र 9-5 (a) में अधिक असंतुलित भार प्राप्त करने के लिये a और o के बीच की अवबाधिता एक अल्प मान का रोध हो सकती है, b और o के बीच एक धारित्र हो सकती है, तथा c और o के बीच एक प्ररोचिता कुंडल युजित किया जा सकता है। इसी प्रकार $\triangle$ युजित भार की अवबाधिता के लक्षणों अथवा असंतुलन की मात्रा के ऊपर कोई प्रतिबन्ध नहीं लगाया जायगा।

चित्र 9-5 (a) के Y– युजित परिपथ में, i_a, i_b, तथा i_c लाइन में और व्यक्तिगत फ़ेज़ों में प्रवाहित, तात्क्षणिक धारायें हैं। फ़ेज़ों के आर-पार तात्क्षणिक वोल्टता e_{ao}, e_{bo}, और e_{co} हैं। इसलिये कुल तात्क्षणिक शक्ति :

$$P=e_{ao}i_a+e_{bo}i_b+e_{co}i_c.$$

W_1 के शक्म कुंडल (Potential Coil) पर आरोपित वोल्टता e_{ac} है और W_2 पर e_{bc}। वाटमीटरों के ऊपर तात्क्षणिक विभ्रमिषायें, तात्क्षणिक वोल्टताओं और तात्क्षणिक धाराओं के गुणन के बराबर हैं। इसलिये,

$$W_1=e_{ac}i_a \quad \text{और} \quad W_2=e_{bc}i_b$$

रेखाचित्र से यह देखा जाता है कि :

$$e_{ac} = e_{ao} + e_{oc} = e_{ao} - e_{co}$$

$$e_{bc} = e_{bo} + e_{oc} = e_{bo} - e_{co}$$

साथ ही, $i_a + i_b + i_c = o$

अर्थात् $i_c = -(i_c + i_b)$

इससे यह निष्कर्ष निकलता है :

$$W_1 + W_2 = e_{ac}i_a + e_{bc}i_b$$
$$= e_{ao}i_a - e_{co}i_a + e_{bc}i_b - e_{co}i_b$$
$$= e_{ao}i_a + e_{bo}i_b - e_{co}(i_a + i_b)$$
$$= e_{ao}i_a + e_{bo}i_b + e_{co}i_c$$
$$= P$$

प्रत्येक वाटमीटर तात्क्षणिक शक्ति का औसत मान देता है, इसलिये W_1 और W_2 के वाचन का बीजीय योग वास्तविक औसत शक्ति के बराबर होता है और शक्ति खंड अथवा असंतुलन की मात्रा पर निभर नहीं करता।*

चित्र 9-5 (*b*) के △ युजित भार के लिये भी ठीक इसी प्रकार संगणना की जा सकती है और उससे भी इस निष्कर्ष की पुष्टि होती है।

तात्क्षणिक शक्ति : $P = e_{ab}i_{ab} + e_{bc}i_{bc} + e_{ca}i_{ca}$

वाटमीटर वाचन : $W_1 = e_{ac}i_a$ और $W_2 = e_{bc}i_b$

रेखाचित्र से, $i_a = i_{ab} - i_{ca}$

$$= i_{ab} + i_{ac}$$

और $i_b = i_{bc} - i_{ab}$

तव, $W_1 + W_2 = e_{ac}i_a + e_{bc}i_b$

$$= e_{ac}(i_{ab} + i_{ac}) + e_{bc}(i_{bc} - i_{ab})$$
$$= e_{ac}i_{ac} + e_{bc}\, i_{bc} + i_{ab}(e_{ac} - e_{bc})$$

रेखाचित्र से यह देखा जाता है कि,

$$e_{ac} - e_{bc} = e_{ac} + e_{cb} = e_{ab}$$

इसलिये, $W_1 + W_2 = e_{ac}i_{ac} + e_{bc}i_{bc} + e_{ab}i_{ab} = P$

इस प्रकार दो वाटमीटर W_1 और W_2 कुल परिपथ की तात्क्षणिक शक्ति का वाचन देंगे और चूंकि प्रत्येक वाटमीटर इन तात्क्षणिक मानों का एक चक्र में औसत करता है, इसलिये दोनों मीटरों के परिणामी पाठ्यांक (Resultant Reading) भार को प्रदत्त वास्तविक औसत शक्ति को देशित करेंगे।

---

* जैसा कि आगे वर्णन किया जायगा, यह योग बीजीय योग ही होना चाहिये, क्योंकि 5·0 शक्ति खंड से कम वाले संतुलित भारों पर एक वाटमीटर का वाचन ऋणात्मक होगा।

संतुलित भारों पर दो वाटमीटर (Two Wattmeters on Balanced Loads) :—यद्यपि असंतुलित धाराओं तथा वोल्टता वाले त्रिफ़ेज़ त्रि-तार तन्त्र में, दो वाटमीटर, शक्ति का ठीक-ठीक मापन करेंगे तथापि शक्ति मापन की अधिकांश समस्यायें संतुलित भारों से सम्बन्धित होती हैं (जैसे कि बहुफ़ेज़ी मोटरों में)। चूंकि, अधिकांश विद्यार्थियों के सामने, प्रयोगशाला में ये समस्यायें आती हैं इसलिये इसका संक्षिप्त विवेचन करना उपयुक्त होगा।

प्रथमत:, वाटमीटरों के अवसानों पर विशेष चिह्न अंकित होते हैं, जिनसे पता लग जाता है, कि कौन सा शक्म अवसान, उस तार से युजित होना चाहिये, जो वाटमीटर के धारा कुंडल में से जा रहा है। यह चिह्न साधारणतया ± के रूप में होता है और उस शक्म अवसान पर अंकित होता है, जिसे धारा कुंडल से युजित किया जाता है।

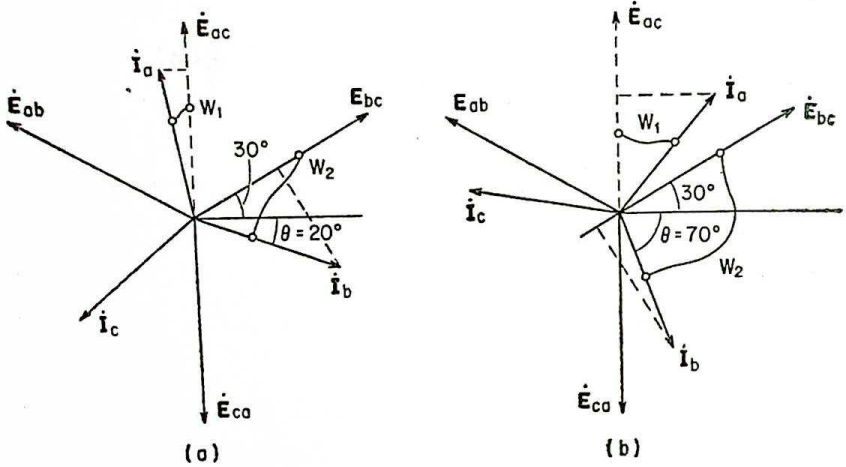
यदि चित्र 9-5 मे दिखाये गए के अनुसार, इस चिह्नित अवसान को वाटमीटर के धारा कुंडल से युजित किया जाय और यदि शक्ति प्रभव दोनों वाटमीटर W_1 और W_2 के एक ही ओर हो, तो वाटमीटर ठीक-ठीक युजित हैं। यदि दोनों ही उल्टी दिशा में वाचन करें; तो वाटमीटरों में धारा प्रवाह की दिशा उलट देनी चाहिये।

प्ररोचन मोटर परीक्षण में, कभी-कभी वाटमीटरों का ठीक-ठीक युजन करने पर भी, कठिनाई का अनुभव होता है। एक मीटर का वाचन धनात्मक होता है और दूसरे का ऋणात्मक। यह प्रायः तभी होता है जब मोटर पर कोई भार नहीं होता।* इसलिये, युजन बदलने से पहले, मोटर पर थोड़ा सा भार लगाकर यह देख लेना चाहिये कि दोनों मीटर धनात्मक वाचन करते हैं अथवा नहीं।

अल्प शक्ति खंड पर वाटमीटर के उल्टे वाचन की घटना को चित्र 9-6 के आधार पर समझाया जा सकता है। इसमें यह दिखाया गया है, कि लाइन में धारा, लाइन वोल्टता से 30°+ शक्ति खंड कोण द्वारा अनुगामी है। वोल्टता दिष्ट E_{ac}, बिन्दुकित रेखा द्वारा दिखाया गया है और W_1 तथा W_2 के धारा तथा वोल्टता दिष्टों को एक वक्र रेखा (Irregular Line) द्वारा जोड़ दिया गया है। इस रेखाचित्र में शक्ति खंड उच्च है और शक्ति खंड कोण केवल 20° है। तथापि यह अवलोकित होगा कि W_2 की वोल्टता तथा धारा के बीच का प्रावस्था कोण $30°+20°=50°$ है जिसके कारण इसका वाचन W_1 से काफ़ी कम होगा।

---

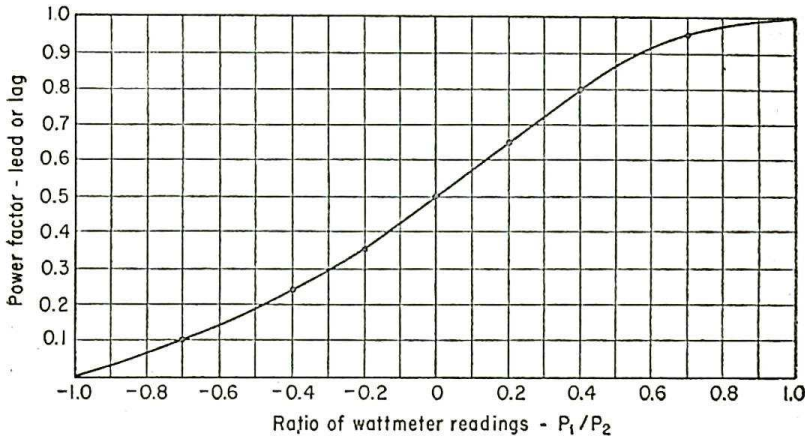
* अल्प वाचन करने वाले वाटमीटर के चिन्ह के ठीक होने की जाँच इस प्रकार की जा सकती है :—इस वाटमीटर के शक्म युजन को, उस लाइन से हटाकर जिसमें कोई वाटमीटर नहो है, उच्च वाचन वाले वाटमोटर की लाइन से युजित करने पर यदि अल्प वाचन वाटमीटर, उल्टा वाचन दे तो वाटमीटर ठीक-ठीक युजित था। इस दशा में उसका वाचन उच्च वाचन वाटमीटर के वाचन में से घटा देना चाहिये।

शक्ति खंड कोण के बढ़ने पर, धारा दिष्ट, वोल्टता दिष्ट के अधिकाधिक पीछे होता जाता है और वाचनों का अन्तर बढ़ता चला जाता है यहाँ तक कि 60°

चित्र 9-6 : **संतुलित त्रिफ़ेज़ भारों के फ़ेज़र रेखाचित्र तथा उनसे संयवित वाटमीटर वाचन**

के शक्ति खंड कोण पर W_2 की धारा वोल्टता से 90° अनुगामी हो जायगी और इसका वाचन शून्य रह जायगा। 60° अनुगमन पर, शक्ति खंड कोण 0·5 होता है, और 0·5 से अधिक शक्ति खंड पर दोनों मीटर धनात्मक वाचन करेंगे जब कि 0·5 से कम शक्ति खंड कोण पर एक मीटर में ऋणात्मक वाचन होता है, जैसा चित्र 9-6 *(b)* में दिखाया गया है। इस चित्र में 70° का शक्ति खंड कोण माना गया है, जिससे कि W_1 में धारा वोल्टता से $70°-30°=40°$ अनुगामी हो जाती है, और W_2 में धारा वोल्टता से $70°+30°=100°$ अनुगामी हो जाती है। जब अनुगमन कोण (Angle of Lag), 90° से अधिक होता है, तब एक वाटमीटर ऋणात्मक वाचन देगा क्योंकि 90° से अधिक कोणों की कोज्या ऋणात्मक होती है।

अल्प शक्ति खंडों पर एक वाटमीटर के युजनों को उल्टा करना आवश्यक हो जाता है, जिससे कि वह धनात्मक वाचन दे सके और इस प्रकार देशन का परिमाण ज्ञात हो जाय। ऐसा करने पर, वाटमीटर वाचन, वस्तुत: ऋणात्मक है। वाटमीटर युजन उल्टा करते समय, धारा युजन को उल्टा करना उचित होता है, जिससे शक्म परिपथ कुंडल लगभग उसी शक्म पर रह सके, जिस पर कि धारा कुंडल रहता है।

मोटरों तथा अन्य औद्योगिक संयन्त्रों में, वाटमीटर वाचनों का अनुपात, **संतुलित** भारों के शक्ति खंड को उचित रूप से देशित करता है। ये अनुपात, विभिन्न शक्ति खंड कोणों के लिये निकाले गये, हैं और चित्र 9-7 में अंकित किये

गये हैं। प्रयोगशाला तथा औद्योगिक संयन्त्र दोनों में ही परीक्षण के लिये, यह वक्र उपयोगी पाया जायगा।

चित्र 9-7 : **एक फ़ेज़ी वाटमीटर पाठ्यांकों द्वारा शक्ति खंड निर्धारित करने का चार्ट**

अभ्यास 9-1 : 0·8 शक्ति खंड पर 10 अम्प० धारा लेने वाली एक 5 अ० श० 220 वोल्ट 50 चक्र त्रिफ़ेज़ प्ररोचन मोटर के लिये दो एकीफ़ेज़ वाटमीटरों के पाठ्यांक निकालिये। दिष्ट रेखाचित्र भी खींचिये।

अभ्यास 9-2 : 25 *HP.*, 440 वोल्ट, त्रिफ़ेज़ 50 चक्रीय, 950 प० प्र० मि० की पन्जर मोटर (Cage Motor) एक केन्द्रापग पम्प (Centrifugal Pump) को चलाने के लिये प्रयोग की जाती है। आदा शक्ति, दो एकीफ़ेज़ वाटमीटरों के द्वारा मापी जाती है, जिनमें एक का वाचन 5000 वाट है और दूसरे का 100 वाट। शक्ति खंड क्या होगा? पम्प प्रदा (Pump Output) के बारे में आप क्या परिणाम निकालेंगे।

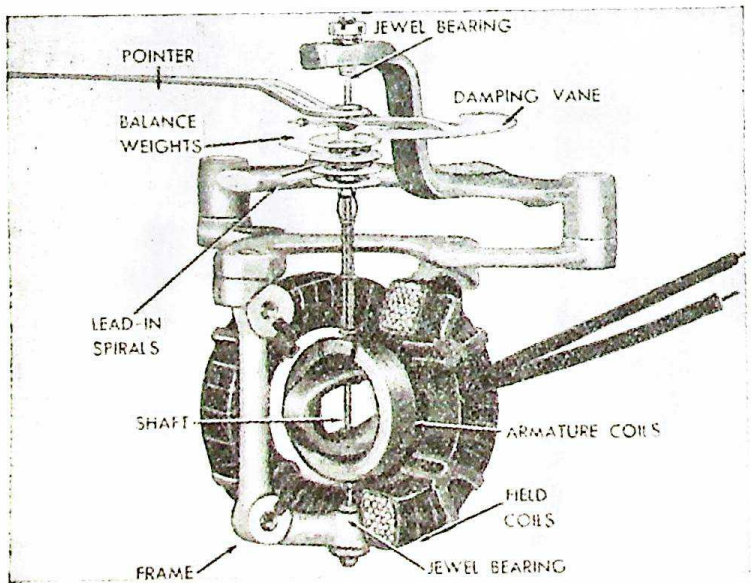
अभ्यास 9-3 : दो एकीफ़ेज वाटमीटरों द्वारा एक 15 *HP.*, 220 *V* त्रिफ़ेज़ मोटर की आदा नापनी है मोटर की पूर्ण भार क्षमता 88% है और लाइन धारा 38 अम्प० है। मोटर पर पूर्ण भार मानकर, प्रत्येक वाटमीटर के पाठ्यांक, कुल आदा शक्ति, तथा मोटर प्रवर्तन का शक्ति खंड निकालिये।

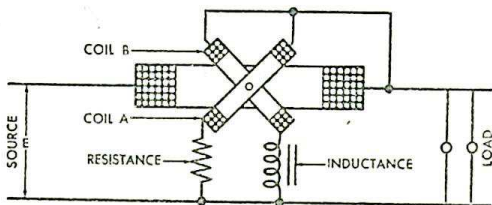
यद्यपि प्रयोगशाला में, त्रिफ़ेज़ शक्ति मापन के लिये बहुधा एकीफ़ेज़ वाटमीटरों का उपयोग किया जाता है, तथापि वाचनों को जोड़ने की आवश्यकता होने के कारण अधिकांश औद्योगिक मापनों के लिये यह संतोषप्रद नहीं है। इसलिये, सामान्यतः दो वाटमीटर अंशक, एक ही ईषा पर आरोहित करके, इन्हें एक बहुफ़ेज़ी वाटमीटर के रूप में प्रयोग किया जाता है। इसमें परिणामी विभ्रमिषा दोनों, अंशकों की अलग-अलग विभ्रमिषा के योग के बराबर होती है। इस प्रकार यह कुल शक्ति का मापन करता है।

शक्ति खंड मापन (Power Factor Measurement)

एकीफ़ेज़ परिपथों में शक्ति खंड को, शक्ति खंड मीटर (Power Factor Meter) द्वारा सीधे ही मापनी पर पढ़ा जा सकता है। इसका सिद्धान्त चित्र 9-8 *(b)* में दिखाया गया है। इसके चलन अंशक में, एक दूसरे से लगभग 90° पर स्थित, दो कुंडल होते हैं। मुख्य चुम्बकीय क्षेत्र, परिपथ धारा द्वारा प्रदत्त होता है, तथा दोनों चलन कुंडल वोल्टता द्वारा। एक कुंडल में धारा वोल्टता के साथ प्रावस्था में होती है, और दूसरे कुंडल में (माला-युजित प्ररोचिता के कारण), वोल्टता से 90° अनुगामी होती है। यदि मुख्य परिपथ में वोल्टता तथा धारा प्रावस्था में है, तो कुंडल A का अक्ष धारा कुंडल के अक्ष की एक रेखा में आ जायगा। परन्तु यदि धारा, वोल्टता से 90° अनुगामी है, तो कुंडल B का अक्ष धारा कुंडल के अक्ष की एक रेखा में आ जायगा। मध्यम अवस्थाओं के लिये, दोनों कुंडल एक ऐसी स्थिति में रुक जायँगे, जो कि दोनों कुंडलों पर सापेक्षिक विभ्रमिषा के मान पर निर्भर करेगी। इस मीटर में, प्रत्यास्थापक विभ्रमिषा की आवश्यकता न होने के कारण, कोई स्प्रिंग भी नहीं होती। इसी सिद्धान्त के विभिन्न रूप, (थोड़ी बहुत अदल बदल के साथ), एकीफ़ेज़ और बहुफ़ेज़ी शक्ति खंड मीटरों में प्रयुक्त होते हैं।

वार मीटर (Var Meter)

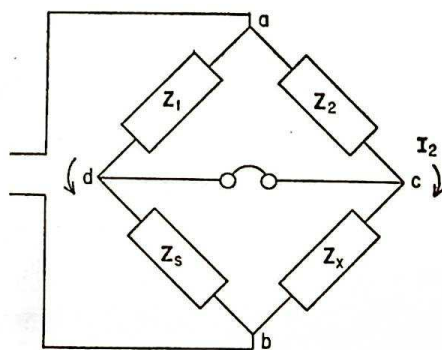
शक्ति खंड की एक विकल्प व्याख्या तथा मापन विधि वार मीटर के उद्योग द्वारा की जाती है। परिपथ में शक्ति, वोल्टता, तथा उससे प्रावस्था में धारा के

चित्र 9-8 *a* : एकीफ़ेज़ श्रंगाटित कुंडल शक्ति खंड मीटर। कटा हुआ दृश्य

संघटक के गुणनफल के बराबर होती है। I के चतुष्क (Quadrature) संघटक के द्वारा, शक्ति खंड का मापन किया जा सकता है। अथवा यदि ठीक-ठीक

चित्र 9-8 b : **एकीफ़ेज़ श्रंगाटित कुंडल शक्ति खंड मीटर का रेखाचित्र**

कहा जाय, तो इसके द्वारा शक्ति खंड का इकाई से विचलन मापा जा सकता है। यह मापन, साधारण वाटमीटर युक्ति द्वारा ही किया जाता है, जिसमें आरोपित वोल्टता, सामान्य वोल्टता से 90° विस्थापित होती है। चूंकि अधिकांश परिपथ बहुफ़ेज़ी होते हैं, इसलिये यह चतुष्क वोल्टता, दो छोटे आत्मग-परिवर्तित्रों (Auto-Transformers) से सरलता से प्राप्त की जा सकती है। धारा के चतुष्क संघटक (Quadrature Component) और वोल्टता E के गुणन को प्रतिकारी वोल्ट अम्पीयर (Reactive Volt Ampere) अथवा VAR कहते हैं। इकाई शक्ति खंड से विचलन मापन की यह विधि, उच्च शक्ति खंडों पर बहुत परिशुद्ध होती है, और इसलिये व्यवहार में, यह विधि विशेषप्रियता प्राप्त करती जा रही है।

अभ्यास 9-4 : एक प्र० धा० परिपथ में मीटरों के पाठ्यांक निम्नलिखित हैं : वोल्टता 230 V; धारा 14 अम्प०; शक्ति 2400 वाट। शक्ति खंड तथा वार निकालिये।

प्र० धा० सेतु (A-C Bridges)

अध्याय 3 में, अ० धा० वोल्टता से आरोपित, व्हीटस्टोन सेतु का अध्ययन किया गया था। करशफ़ नियम के आधार पर दिष्ट मानों का प्रयोग करके प्रत्यावर्ती धारा के लिये भी एक ऐसे ही सेतु का विकास करना संभव है। परन्तु इसमें गैल्वेनोमीटर के स्थान पर एक हृष प्र० धा० उपलम्भक (Detector) लगाना आवश्यक होगा। चित्र 9-9 में सेतु के ऊपर आरोपित प्र० धा०

चित्र 9-9 : **सामान्य व्हीटस्टोन सेतु रेखाचित्र**

वोल्टता श्रव्य वारंवारता परास (Audio Frequency Range) में है और

हेडफ़ोन युग्म (Pair of Headphones), एक हूष उपलम्भक का कार्य करते हैं। समीकार, ह्वीटस्टोन सेतु की भाँति ही हैं। केवल सभी राशियाँ फ़ेज़र हैं। इस प्रकार,

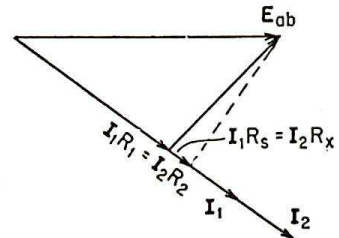
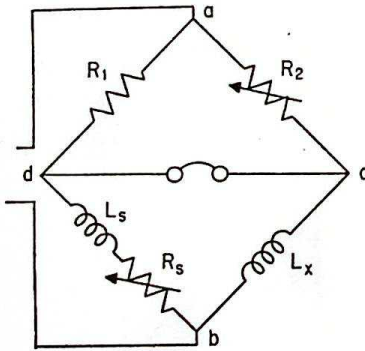
$$\frac{I_2 Z_x}{I_2 Z_2} = \frac{I_1 Z_s}{I_1 Z_1}$$

$$\text{और,} \quad Z_x = \frac{X_2}{Z_1} Z_s$$

उपर्युक्त फ़ेज़र समीकार सर्वसामान्य है। निम्नलिखित परिच्छेद में सामान्य रूप की वहुत सी विशेष दशाओं का विवेचन किया जायगा।

प्ररोचिता सेतु (Inductance Bridge) : यदि 9-9 के समीकार में Z_1 तथा Z_2 रोधक हों तो संतुलन समीकार

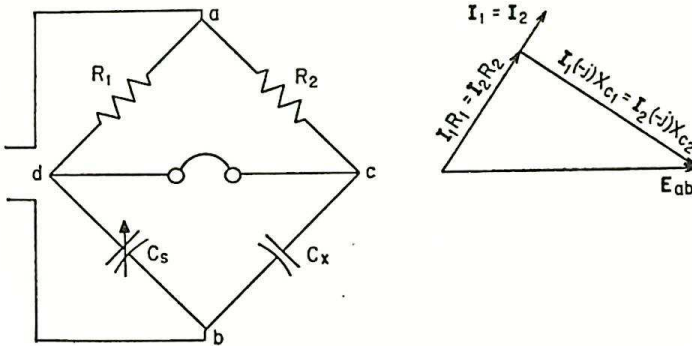
$$Z_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot Z_s$$

हो जायगा। ऐसा सेतु जिसमें अज्ञात अवबाधिता एक प्ररोचिता कुंडल है, चित्र 9-10 में दिखाया गया है। परिपथ के $R_2 - L_x$ पार्श्व में वोल्टता पात तथा धारा का दिष्ट रेखाचित्र भी इसी चित्र में दिखाया गया है।

चित्र 9-10 : **विचरणशील सेतु बाहु का प्रयोग करने वाला एक प्ररोचिता सेतु**

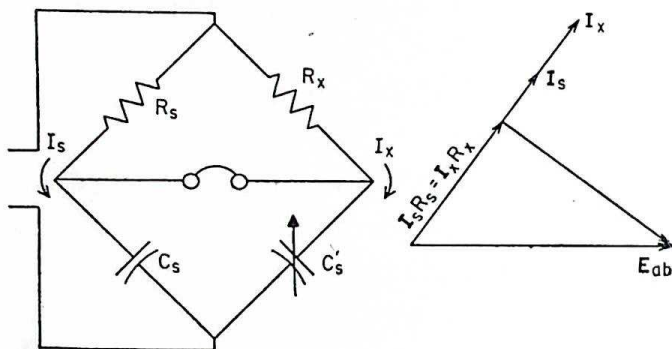
चूंकि रोधकों का अवबाधित कोण (Impedance Angle) शून्य होता है, इसलिये R_2 का R_1 से अनुपात एक वास्तविक संख्या हो जाती है, और Z_x का शक्ति खंड Z_s के बराबर होगा। परन्तु यह सामान्य दशा नहीं है। इसलिये Z_s अथवा Z_x के परिपथ में एक अल्प रोधक का निवेशन करना आवश्यक होता है, जिससे कि Z_s के Z_x के बराबर हो जाने तक, शक्ति खंड का व्यवस्थापन किया जा सके। रेखाचित्र में यह मान लिया गया है, कि प्रमाणिक Z_s का शक्ति खंड कोण कम है; और इसलिये रोध को परिपथ की उस शाखा में ही लगाया जाता है।

दिष्ट रेखाचित्र में वोल्टता पात I_2R_2 बिन्दु c के शक्म को निश्चित करता है। बिन्दु d का शक्म I_1R_1 द्वारा निश्चित होता है। संतुलन प्राप्त होने पर, बिन्दु c तथा d के शक्म समान होते हैं इसलिये I_1 और I_2 प्रावस्था में होंगी। ये केवल प्रावस्था में ही नहीं होंगी, वरन् I_1R_1 का परिणाम भी I_2R_2 के बराबर होगा। इसलिये परिमाण तथा प्रावस्था कोण दोनों में ही संतुलन प्राप्त करना आवश्यक है।

यदि R_2,R_1 के बराबर हो, तो सेतु सीधा तुलनाकरण सेतु (Comparison Bridge) हो जाता है, और एक विचरणशील प्रमाणिक प्ररोचित्र को प्ररोचिता का संतुलन करने के लिये; तथा विचरोधक R_s को प्रावस्था कोण का संतुलन करने के लिये प्रयोग किया जा सकता है। इसकी विधि, साधारणतया प्ररोचित्र L_s को व्यवस्थापित करने की है, जब तक कि हेडफ़ोन में न्यूनतम तान (Tone) प्राप्त हो; और तब R_s को व्यवस्थापित करने की जब तक दूसरी न्यूनतम तान प्राप्त हो। इस क्रम को कितनी ही बार करने के उपरान्त, सामान्यत:, संतोषप्रद संतुलन प्राप्त करना संभव है।

कभी-कभी प्ररोचिता के स्थिर प्रमाप प्रयोग किये जाते हैं। इस दशा में संतुलन प्राप्त करने के लिये R_2/R_1 के अनुपात का विचरण करना आवश्यक है। R_s में शक्ति खंड शोधन की अब भी आवश्यकता होती है।

चित्र 9-11 : **विचरणशील प्रमाणिक धारित्र का प्रयोग करने वाला एक धारिता सेतु**

धारिता सेतु (Capacitance Bridge) **:** उपर्युक्त सेतु से धारित्रों की धारिता की तुलना करना भी संभव है। परन्तु चूंकि प्रमाणिक विचरणशील धारित्र, प्रमाणिक विचरणशील प्ररोचित्र की अपेक्षा अधिक सामान्य होते हैं इसलिये ऐसे सीधे तुलनाकरण सेतु का प्रयोग सर्व सामान्य है जिसमें R_1 और R_2 बराबर हों। अधिकांश दशाओं में शक्ति खंड शोधन की भी आवश्यकता नहीं होती; क्योंकि धारित्रों में शक्ति हानि बहुत ही कम होती है। ऐसे सेतु का रेखाचित्र तथा इससे सम्बन्धित दिष्ट रेखाचित्र चित्र 9-11 में दिखाया गया है।

सेतु की प्रमाणिक अवबाधिता वाली भुजा में वोल्टता पातों का दिष्ट रेखाचित्र, अज्ञात भुजा के दिष्ट रेखाचित्र के ठीक समरूप होगा।

चित्र 9-12 : **धारिता सेतु द्वारा रोध मापन**

इस सेतु की एक असामान्य प्रयुक्ति तापमान तथा अन्य औद्योगिक मापनों के लिये भी की गई है। इसमें, तापमान कूप (Temperature Well) में स्थित एक कुंडल के रोध में विचरण नापने के लिये एक विचरणशील धारित्र का उपयोग किया जाता है। परिपथ का रेखाचित्र चित्र 9-12 में दिखाया गया है। एक इलेक्ट्रॉनिक प्रवर्धक (Electronic Amplifier) असंतुलन का उपलम्भन करता है और परिपथ को पुनः संतुलित करता है।

दसवाँ अध्याय

परिवर्तित्र

(TRANSFORMERS)

परिवर्तित्रों के लक्षण तथा उपयोग

परिवर्तित्र, जो इस अध्याय के अध्ययन का विषय है, एक विद्युत यंत्र है जिसने प्र० धा० विद्युत्शक्ति तन्त्रों की उपयोगिता में प्रमुख अंशदान किया है। इसके द्वारा बहुत कम शक्ति हानि और सापेक्षतया कम मूल्य की सज्जा से, किसी परिपथ में वोल्टता धारा सम्बन्धों को परिवर्तित किया जा सकता है। परिवर्तित्र में एक ही चुम्बकीय आंतरक (Core) के ऊपर, प्राथमिक तथा द्वितीयक, दोनों कुंडल वर्तित होते हैं। ये कुंडल वैद्युतिक रूप में एक दूसरे से विसंवाहित रहते हैं; और शक्ति का स्थानान्तरण स्तारित-इस्पात-आन्तरक (Laminated Steel Core) में चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा होता है। परिवर्तित्रों की दक्षता, साधारणतया 1 किलोवाट तक के छोटे यंत्रों में, 96% से लेकर बड़े यंत्रों में 99% तथा कुछ बहुत बड़े यन्त्रों में इससे भी अधिक होती है।

परिवर्तित्रों के द्वारा, जलविद्युत शक्ति स्थलों पर, सापेक्षतया अल्प वोल्टता पर जनित शक्ति को उच्च वोल्टता पर उपक्रमित (Step Up) कर उच्च वोल्टता लाइनों द्वारा नगरों तथा औद्योगिक संयन्त्र स्थलों तक पारेषित (Transmit) कर दिया जाता है। इस शक्ति को, नगरों तथा संयन्त्रों के उपयोग के लिए उपयुक्त वोल्टता पर, इन जैसे परिवर्तित्रों द्वारा ही अवक्रमित (Step Down) कर दिया जाता है। मूल्य के दृष्टिकोण से, शक्ति विभाजन तथा उपयोगिता तन्त्रों के लिये, वोल्टता का अवक्रमण, सामान्यतः, कई पदों में किया जाता है।

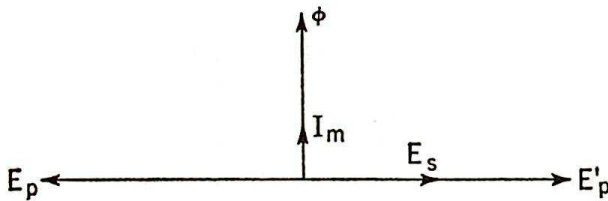
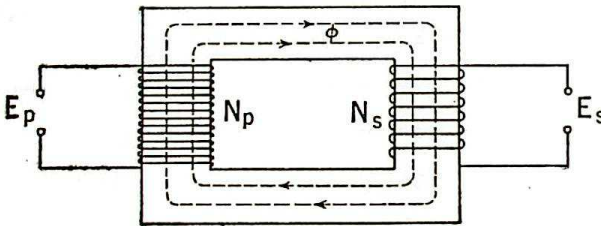
परिवर्तित्रों के मूलभूत सिद्धान्त

चौथे अध्याय में, पारस्परिक प्ररोचिता M की परिभाषा उस लक्षण के रूप में की गई थी, जिसके कारण प्राथमिक परिपथ में धारा परिवर्तन की गति से, द्वितीयक परिपथ में एक वोल्टता उत्पन्न हो जाती है। परिवर्तित्र के प्राथमिक में धारा के सामान्य प्रत्यावर्तन के कारण, आन्तरक में स्यंद परिवर्तन होता है, जिसके कारण अंततः, द्वितीयक में वोल्टता उत्पन्न होती है।

चित्र 10-1 में परिवर्तित्र का सरल रूप दिखाया गया है। इसमें एक ही चुम्बकीय आन्तरक पर एक N_p वर्तों का कुंडल, दूसरे N_s वर्तों के कुंडल पर लपेटा हुआ है। पहला कुंडल जो साधारणतया शक्ति प्रभव से युजित होता है, प्राथमिक कहलाता है तथा दूसरा द्वितीयक। प्रथम उपसादन (First Approxima-

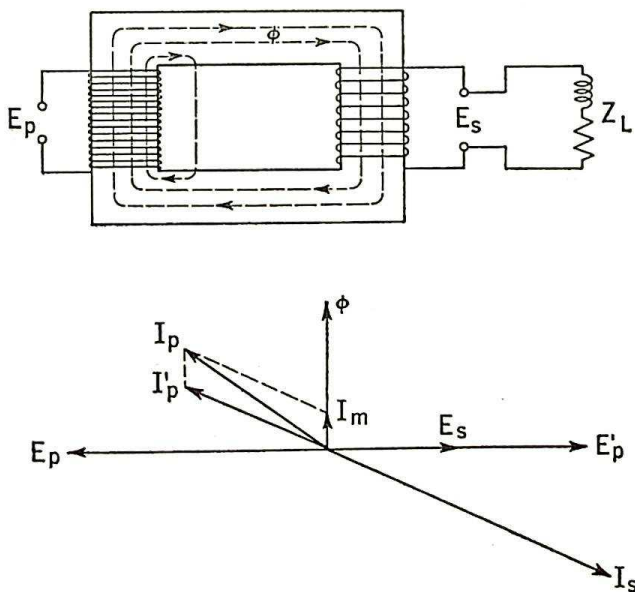
tion) में यह माना जा सकता है, कि कुल स्यंद चुम्बकीय आन्तरक तक ही सीमित रहती है और इसलिये प्राथमिक से ग्रथन करने वाली स्यंद, द्वितीयक से भी ग्रथन करती है। प्राथमिक कुंडल पर जब प्र० धा० वोल्टता आरोपित की जाती है तो इसमें प्रत्यावर्ती धारा प्रवाहित होती है। इस कारण, परिवर्तित्र आन्तरक में, समय के साथ ज्यावर्ती विधि से विचरण करने वाली स्यंद उत्पन्न होती है। जैसा सातवें अध्याय में समझाया गया है, प्ररोचिता में (परिवर्तित्र प्राथमिक भी एक प्ररोचिता है) स्यंद ग्रथन के कारण एक वोल्टता उत्पन्न होती है, जो आरोपित वोल्टता के बराबर परन्तु विरुद्ध होती है। चूँकि वही स्यंद, प्राथमिक तथा द्वितीयक दोनों से ही ग्रथन करती है, इसलिये प्रत्येक कुंडल में प्रति वर्त वोल्टता, उतनी ही होती है। कुंडलों की आन्तरिक वोल्टतायें, वर्त संख्या के अनुपात में होती हैं। गणितानुसार व्यक्त करने पर,

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

भार रहित अवस्था में परिवर्तित्र का फेज़र रेखाचित्र :—विद्युतीय परिपथों, परिवर्तित्रों, तथा अन्य विद्युत मशीनों के विश्लेषण में फ़ेज़र रेखाचित्रों का उपयोग

चित्र 10-1 : **सरल परिवर्तित्र रेखाचित्र–भार रहित**

बहुत सहायक होता है। चित्र 10-1 में एक सरल लौह आन्तरक परिवर्तित्र दिखाया गया है। साथ ही साथ वोल्टता, धारा तथा प्रदीपन धारा का फ़ेज़र रेखाचित्र भी दिया गया है। आरोपित वोल्टता E_p के कारण प्राथमिक में एक धारा I_m प्रवाहित होती है। चूँकि प्ररोचिता बहुत अधिक होती है, इसलिये यह धारा वोल्टता से लगभग 90° अनुगामी होती है। इसके परिणामस्वरूप जो स्यंद उत्पन्न होती है वह प्राथमिक वोल्टता से काल प्रावस्था में 90° अनुगामी

होती है। जैसा रेखाचित्र में देशित किया गया है ; यह स्यंद प्राथमिक कुंडल में एक वोल्टता E'_p ; (जो आरोपित वोल्टता के बराबर, परन्तु विरुद्ध है) तथा द्वितीयक कुंडल में वोल्टता E_s उत्पन्न करती है। यदि प्राथमिक में, द्वितीयक से दुगने वर्त हों, तो द्वितीयक वोल्टता, प्राथमिक वोल्टता की आधी होगी। इस प्रकार यह परिवर्तित्र 2 : 1 अवक्रमण परिवर्तित्र है। रेखाचित्र में यह मान लिया गया है कि द्वितीयक में कोई धारा नहीं है। इसलिये यह भाररहित अथवा शून्य भार अवस्था को निरूपित करता है।

भार सहित अवस्था में परिवर्तित्र का फ़ेज़र रेखाचित्र :—यदि द्वितीयक से कोई भार युजित कर दिया जाय तो इसमें एक धारा प्रवाहित होगी जिसका परिमाण और शक्ति-खंड, युजित भार की अवबाधिता पर निर्भर करेगा। यह चित्र 10-2 में दिखाया गया है। इसके कारण एक चुम्बक गामक बल उत्पन्न

चित्र 10-2 : **सरल परिवर्तित्र रेखाचित्र—अनुगामी भार**

होता है जो स्यंद को बदलने तथा प्राथमिक वोल्टताओं के पूर्व संतुलन को भंग करने की चेष्टा करता है। यदि परिवर्तित्र के अन्दर रोध तथा प्रतिकारिता पातों को नगण्य माना जाय (सामान्य परिवर्तित्रों में ये केवल कुछ ही प्रतिशत होते हैं), तो, प्राथमिक में उत्पन्न वोल्टता $E_{p'}$, निश्चय ही सदैव, आरोपित वोल्टता E_p के बराबर और विपरीत होगी। चूंकि आरोपित वोल्टता को स्थिर माना गया है, इसलिये प्राथमिक वोल्टता E'_p भी अवश्य स्थिर होगी, और आन्तरक में स्यंद भी स्थिर रहेगी : न केवल परिमाण में ही, वरन् प्रावस्था में भी। यह तब हो सकता है, जब प्राथमिक में धारा द्वितीयक कुंडल के चुम्बक

गामक बल का निष्फलन कर दे। पर्यालोचित 2 : 1 के परिवर्तित्र में, बरावर अम्पीयर वर्त उत्पन्न करने के लिये प्राथमिक में, द्वितीयक की अपेक्षा, केवल आधी ही धारा अपेक्षित होगी।

एक अधिक सामान्य कथन, जो परिवर्तित्र विश्लेषण में बहुत उपयोगी होता है, इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है : **प्रदीपन धारा को नगण्य मानकर, प्राथमिक के अम्पीयर वर्त, द्वितीयक के अम्पीयर वर्तों के ठीक बराबर और विपरीत होते हैं।** गणितानुसार,

$$N_p I'_p = N_s I_s,$$

अथवा
$$\frac{I'_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

जिसमें I'_p प्राथमिक भार धारा है और I_s द्वितीयक धारा ; जैसा कि चित्र 10-2 के दिष्ट रेखाचित्र में दिखाया गया है। कुल प्राथमिक धारा, भार धारा I'_p और प्रदीपन धारा I_m के दिष्ट योग के बराबर होती है।

यह नोट किया जाता है, कि यदि द्वितीयक धारा, द्वितीयक वोल्टता से अनुगामी हो, तो प्राथमिक धारा भी प्राथमिक वोल्टता के पीछे अनुगामी होगी। इसी प्रकार यदि भार अवबाधिता ऐसी हो कि द्वितीयक से अग्रित धारा ले, तो प्राथमिक धारा भी अग्रित होगी। इस प्रकार द्वितीयक भार, प्राथमिक में ठीक-ठीक प्रतिबिंबित होता है। अंतर केवल यही होता है, कि प्राथमिक धारा, द्वितीयक धारा से, प्राथमिक : द्वितीयक वर्त अनुपात के व्युत्क्रम (Reciprocal) से गुणन करने पर प्राप्त होती है। साथ ही द्वितीयक में धारा तथा वोल्टता का गुणन, प्राथमिक में धारा तथा वोल्टता के गुणन के बराबर होता है।

इसलिये परिवर्तित्र, वस्तुतः, भार अवबाधिता को, (जैसी यह प्राथमिक परिपथ को प्रतीत होती है) परिवर्तन करने वाली युक्ति के रूप में कार्य करता है। पर्यालोचित इस 2 : 1 परिवर्तित्र में, प्राथमिक धारा, द्वितीयक की आधी है ; परन्तु प्राथमिक वोल्टता, द्वितीयक की दुगनी है। इस प्रकार प्राथमिक परिपथ में सम अवबाधिता निकालने के लिए, द्वितीयक भार अवबाधिता को, वर्त अनुपात के वर्ग से गुणा करना होगा।

$$Z_p = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 Z_s$$

उदाहरण : 2400/240 वोल्ट के परिवर्तित्र में द्वितीयक के आर-पार एक 10 ओम का रोधक लगा है। प्राथमिक (2400 वोल्ट) परिपथ के लिये यह कितनी अवबाधिता उपस्थित करेगा ?

समाधान :

$$Z_p = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 Z_s = 10^2 \times 10 = 1000 \text{ ओम}$$

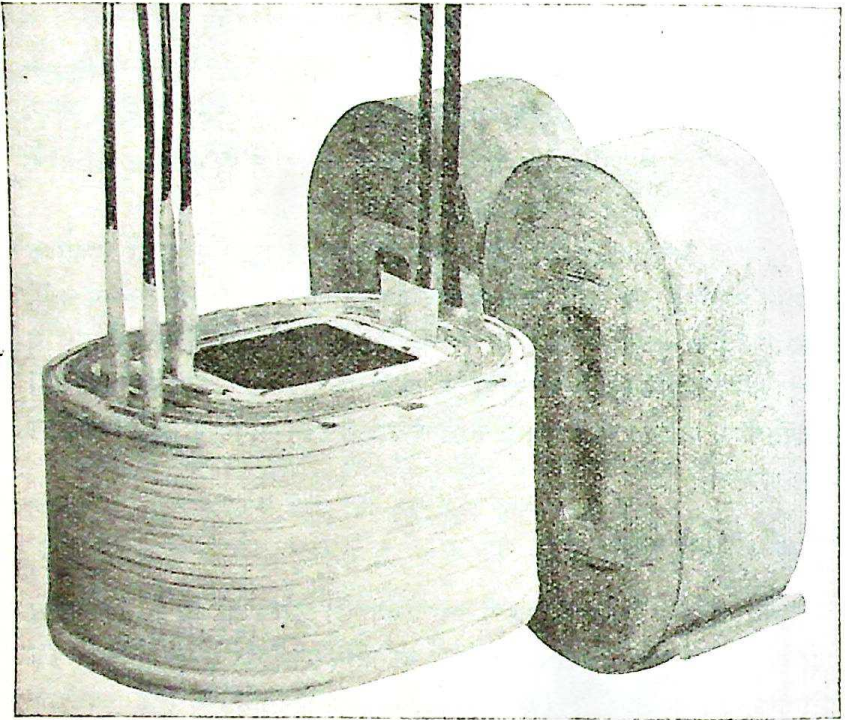
अभ्यास 10-1 : 8 ओम रोध और 12 ओम की प्ररोचि प्रतिकारिता वाला एक भार 2300/230 वोल्ट, परिवर्तित्र के द्वितीयक से युजित है। परिवर्तित्र तथा इसका भार 2300 वोल्ट की लाइन के लिये कितनी अवबाधिता उपस्थित करते हैं?

अभ्यास 10-2 : 22000/6600 वोल्ट परिवर्तित्र के उच्च वोल्टता वर्तन में 1000 वर्त हैं। अल्प वोल्टता वर्तन में कितने वर्त होंगे? यदि अधिकतम स्यंद का मान 100,000 रेखा प्रति वर्ग इंच से अधिक न हो तो लौह आन्तरक का अनुप्रस्थ-छेदीय क्षेत्रफल क्या होगा?

पूर्वगामी विश्लेषण में यह मान लिया गया था कि कुल स्यंद जो प्राथमिक से ग्रथन करती है, वह द्वितीयक से भी ग्रथन करती है। यह पूर्णतया सत्य नहीं, है, क्योंकि दोनों कुंडलो के विरोधी चुम्बक गामक बलों के कारण कुछ स्यंद वायु विच्छद के आर-पार भी निकल जाती है जैसा चित्र 10-2 में दिखाया गया है। परिवर्तित्र की बनावट की विवेचना करने के बाद, इसका अधिक परिशुद्ध विश्लेषण किया जायगा।

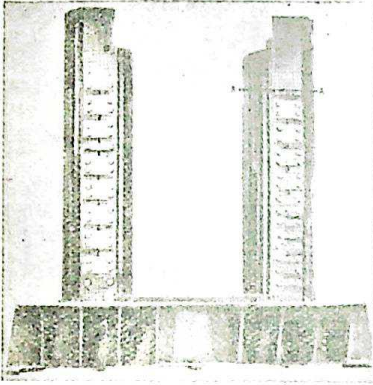
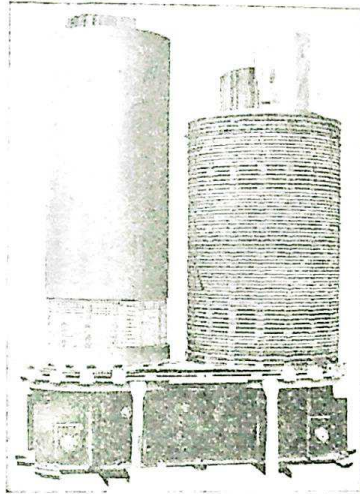
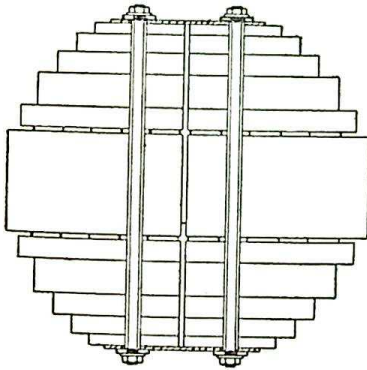
परिवर्तित्र की रचना

सामान्य परिवर्तित्र के अभिकल्प तथा रचना का उद्देश्य यह है, कि विसंवाहन तथा शीतन की आवश्यकताओं से संगत, दो वर्तन एक दूसरे से अधिक से अधिक घनिष्ट रूप से अन्तर्वयित (Interlaced) हों। इन वर्तनों के लिये, स्तारित-इस्पात-पर्णों (Laminated Sheet Steel) के बने हुए एक संवृत (Closed) चुम्बकीय परिपथ का प्रावधान होता है। इस पथ (आन्तरक) का अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल काफ़ी होता है, जिससे कि कम चुम्बकन धारा की आवश्यकता हो, और लौह शक्ति हानि भी कम हो। बहुत से छोटे परिवर्त्रिों में, यह उद्देश्य प्राथमिक एवं द्वितीयक को आकृति वर्तित (Form-wound) कुंडलों के रूप में लपेट कर प्राप्त किया जाता है, जैसा चित्र 10-3 में दिखाया गया है। तब, इन कुंडलों का चुम्बकीय युग्मन (Magnetic Coupling) इस्पात के लम्बे पर्ण को इनके ऊपर एक सघन कुंतल (Compact Spiral) के रूप में लपेट कर किया जाता है। इससे एक छोटा, किन्तु दक्ष परिपथ प्राप्त होता है। एकत्रण के बाद, इनको एक ऋतुसह (Weather-proof) टंकी में रख दिया जाता है। यह टंकी, विशेष तेल से भर दी जाती है जिससे विसंवाहन तथा शीतन-क्रिया सुधर सके। चित्र में कुंडल समूह को ध्यानपूर्वक देखने से पता चलेगा कि कुंडल के सिरों के पास लकड़ी के अन्तरक (Spacers) स्थित हैं, जो कुंडल में तेल के परिवहन के लिये रिक्तस्थान उत्पन्न कर देते हैं। विद्युत योजक (Electrical Connections) टंकी से बाहर पोर्सलेन (Porcelain) विसंवाहकों के बीच में से लाये जाते हैं, जिन्हें बुशिंग कहते हैं। इन छोटे विभाजन परिवर्तित्र

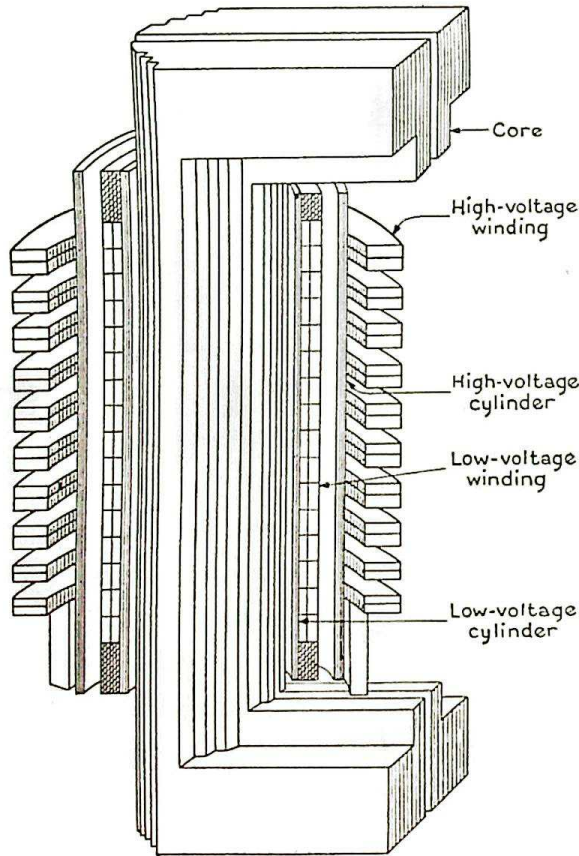
में प्राथमिक अथवा उच्च वोल्टता योजक टंकी के एक ओर तथा द्वितीयक अथवा अल्प वोल्टता योजक टंकी के दूसरी ओर निकाले जाते हैं।

चित्र 10-3 : *G. E.* निर्मित 10 *KVA* के परिवर्तित्र के वर्तन। छोटी लम्बाइयों में काटने से पहले आन्तरक के दो प्रभाग

विभिन्न निर्माता इन परिवर्तित्र की रचना के विभिन्न आकार प्रयोग करते हैं। श्रेष्ठ इंजीनियरी व्यवहार के कारण, आधुनिक परिवर्तित्रों की दक्षता काफ़ी बढ़ गई है तथा मूल्य घट गया है। परन्तु उपर्युक्त मूलभूत उद्देश्य सभी प्ररचनाओं में एक ही होते हैं।

बड़े, उच्च वोल्टता परिवर्तित्रों में, चुम्बकीय आन्तरक, परिवर्तित्र इस्पात (Transformer Steel) के आयताकार पर्णों के बने होते हैं। कोनों का विन्यास इस प्रकार होता है, कि अन्तर्वर्पित पर्ण लगभग निरंतर एक सतत चुम्बकीय परिपथ बनाते हैं। ऊपर के भाग को छोड़कर, आन्तरक को पूर्ण रूप से एकत्रित कर लिया जाता है। अल्प वोल्टता कुंडलों को फ़ाइबर के बेलनों पर वर्तित कर वार्निश में डुबो कर पकाया जाता है। तब ये आन्तरक पर एकत्रण के लिये तैयार हो जाते हैं (जैसा चित्र 10-4 में दिखाया गया है)। उच्च वोल्टता कुंडलों के विसंवाहन की समस्या पर विशेष ध्यान देने की आवश्यकता होती है। उच्च वोल्टता वर्तन, बहुधा अलग-अलग कई कुंडलों के बने होते हैं; जो आपस

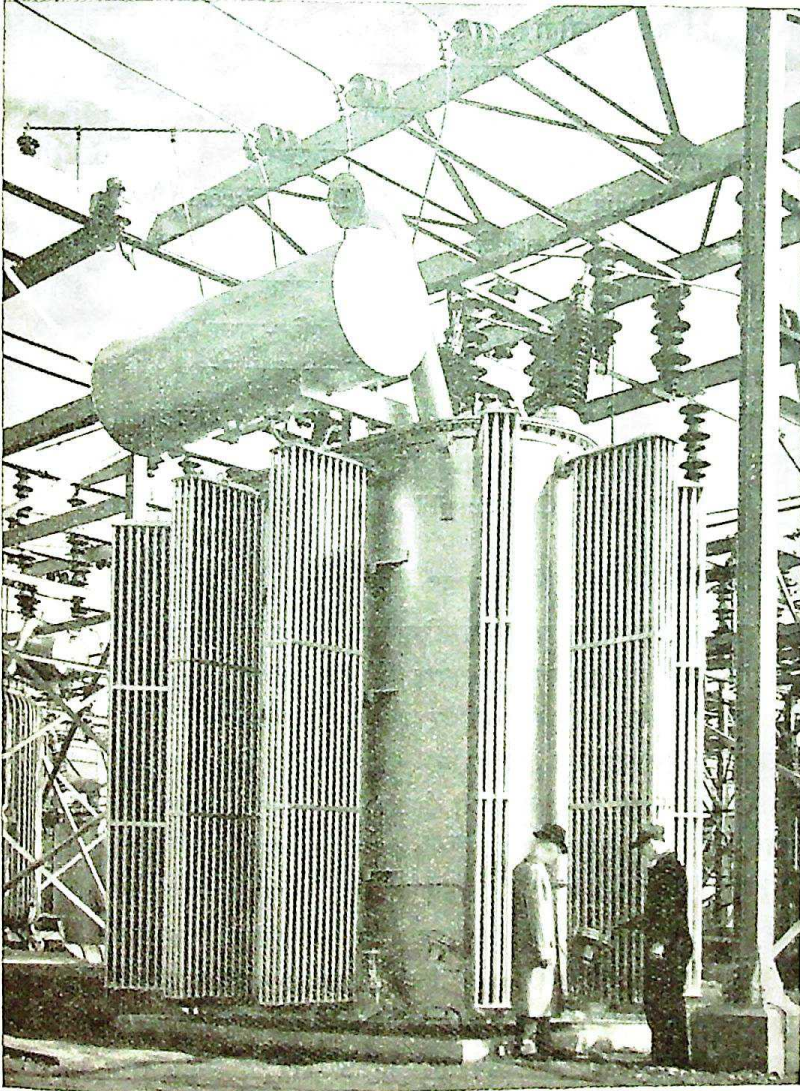
में एक दूसरे से तथा द्वितीयक और आन्तरक से विसंवाहित होते हैं। ये कुंडल एक दूसरे के साथ माला-युजित होते हैं, किन्तु इनका पृथक्करण वर्तन को तड़ित्

चित्र 10-4 : एक बड़े एकीफ़ेज़ परिवर्तित्र की रचना, *(a)* कुंडलों के रखने से पहले आन्तरक, *(b)* *AA* पर आन्तरक का अनुप्रस्थ छेदन, *(c)* दोनों पादों पर अल्प वोल्टता वर्तन तथा दाहिने पाद पर उच्च वोल्टता वर्तन

और स्विच उल्लोल (Switching Surges) से सुरक्षित रखता है, अन्यथा ये विसंवाहन का वेधन कर सकती हैं। चित्र 10-5 में कुंडलों का अनुप्रस्थ छेदन करके एक बड़े उच्च वोल्टता परिवर्तित्र का आधा भाग दिखाया गया है। इस चित्र में विसंवाहक बेलन (Insulating Cylinder) जिसके ऊपर अल्प वोल्टता कुंडल वर्तित होता है, देखा जा सकता है। आन्तरक तथा इस बेलन के बीच, शीतन तेल के प्रवाह के लिये काफ़ी स्थान है। किन्तु यह प्रवाह, उत्पन्न हुई सारी ऊष्मा को निकालने में समर्थ नहीं होता। इसलिये आन्तरक के मध्य में एक दरी (Duct) का प्रावधान होता है। उच्च वोल्टता बेलन काफी बड़ा

होता है, जिससे उसके तथा अल्प वोल्टता कुंडल के बीच तैल का प्रवाह हो सके। इसे, कुंडल के चारों ओर लकड़ी अथवा फ़ाइबर के अन्तरकों द्वारा अपने स्थान पर स्थित रक्खा जाता है। ये आन्तरक ऊर्ध्वाधर रक्खे जाते हैं, जिससे कि वे तेल प्रवाह में बाधा न दें। उच्च वोल्टता कुंडल, उच्च वोल्टता बेलन के बाहर चारों ओर अलग-अलग एकत्रित किये जाते हैं। इन्हें सावधानी से स्थिति में रखकर बाँध दिया जाता है; जिससे लघु परिपथन धारायें (Short Circuit Currents)

चित्र 10-5 : आन्तरक तथा कुंडलों का विन्यास दिखाते हुए एक शक्ति परिवर्तित्र का रेखाचित्र

इन्हें विचलित न कर सकें। परिवर्तित्र के दोनों पादों पर, प्राथमिक एवं द्वितीयक, दोनों कुंडलों का एकत्रण करने के बाद, आन्तरक के ऊपर वाले भाग का एकत्रण कर इसे संधरित (Clamped) कर दिया जाता है। कुंडलों का माला एवं समानान्तर युजन करने के पश्चात्, अवसान वाहक (Terminal Leads) लगा दिये जाते हैं। तब सारे एकत्रण को एक बड़ी टंकी में रख दिया जाता है। तेल को ठंढा करने के लिए, सामान्यतः टंकी में विकिरक (Radiators) लगाये जाते

हैं। टंकी की छत में पोर्सलेन बुशिंग लगे होते हैं जिनके बीच में से अल्प तथा उच्च वोल्टता वाहक बाहर निकाले जाते हैं।

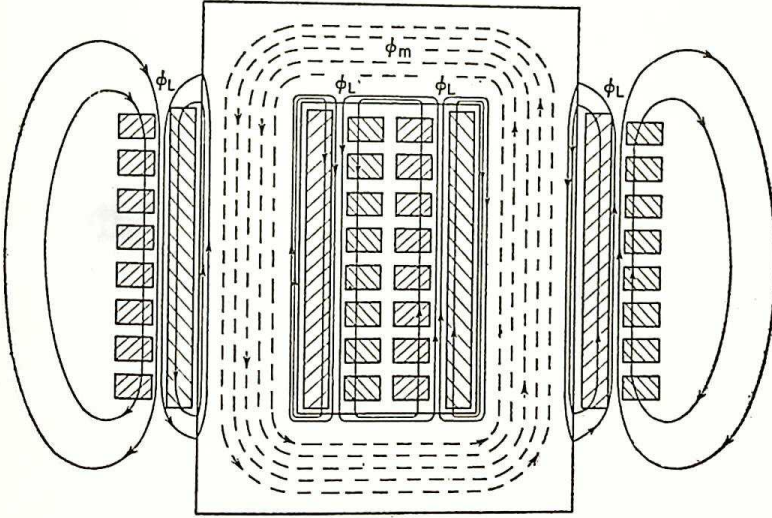
तैल शीतन तन्त्र संवहन के सिद्धान्त पर प्रवर्तन करता है। गरम होने पर, तैल, कुंडल एवं आन्तरक के बीच में से होता हुआ ऊपर की ओर बहकर, बाहर की ओर विकिरकों में से ठंढा होकर नीचे आ जाता है। हानियों की ऊर्जा, बाहरी वायु को गरम करने में अवशोषित हो जाती है। चित्र 10-6 में एक बड़े उच्च वोल्टता परिवर्तित्र का बाहरी दृश्य दिखाया गया है।

चित्र 10-6 : **एक** 12000 *KVA* ; **त्रिफ़ेज उच्च वोल्टता परिवर्तित्र**

परिवर्तित्र के आन्तरक विभिन्न रूपों के होते हैं। चित्र 10-3 में दिखाये गये छोटे परिवर्तित्र में, विपटित (Split) चुम्बकीय परिपथ का उपयोग करने वाले कुंडलों का प्रयोग किया जाता है। ये कुंडल परिवर्तित्र के दोनों पार्श्वों में बाहर की ओर वर्तित होते हैं। इस रचना को शेल (Shell) प्ररूप की रचना कहते हैं। चित्र 10-4 और 10-5 में दिखाये गये, बड़े शक्ति परिवर्तित्र में, एकी परिपथ चुम्बकीय आन्तरक के दोनों पादों पर आरोहित, संकेन्द्रित कुंडलों के दो सेट होते हैं। ऐसे परिवर्तित्र को आन्तरक प्ररूप (Core Type) का परिवर्तित्र कहते हैं। प्रत्येक प्ररूप में कुछ लाभ होते हैं। आन्तरक एवं कुंडलों की ठीक-ठीक प्ररचना के द्वारा, दोनों ही प्ररूपों में लगभग सभी आकार के परिवर्तित्रों के लिये संतोषजनक एवं दक्ष अभिकल्प प्राप्त करना संभव है।

जैसा ऊपर देशित किया गया है, सामान्य उपयोग के लिए, तेल सर्वाधिक संतोषप्रद शीतन एवं विसंवाहन माध्यम है। इसके उच्च पारवैद्युतिक बल (High Dielectric Strength) अल्प श्यानता (Low Viscosity) तथा अवपंक (Sludge) न बनाने के गुण के कारण, इसे अधिकांशत: बाहर रखे जाने वाले परिवर्तित्रों में प्रयोग करते हैं। परन्तु तेल ज्वलनशील होता है; इसलिये जिन भवनों में तेल से भरे परिवर्तित्र होते हैं, उनमें अग्नि-सुरक्षा का विशेष रूप से प्रावधान करना आवश्यक है। चूँकि ऐसे पूर्वोपाय मँहगे होते हैं; इसलिये छोटे आकारों के वायु शीतित परिवर्तित्रों का प्रयोग सामान्य है। बड़े आकारों के उच्च वोल्टता परिवर्तित्रों में तेल के स्थान पर पाइरेनौल (Pyranol) अथवा ऐसे ही अज्वलनशील (Non Combustible) द्रव का प्रयोग किया जाता है।

च्यावी प्रतिकारिता (Leakage Reactance)

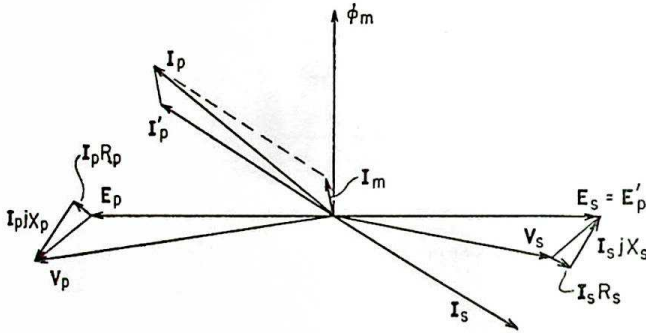
यह देखा गया है, कि अधिकांश परिवर्तित्रों में प्राथमिक और द्वितीयक के बीच, विसंवाहन तथा शीतन माध्यम के प्रवाह के लिये, एक निश्चित पृथक्करण होता है। एक परिच्छेद में यह भी पढ़ा जा चुका है, कि प्राथमिक और द्वितीयक भार धाराओं के चुम्बक गामक बल बराबर और विपरीत होते हैं। चूँकि ये भार धारायें काफ़ी उच्च मान की होती हैं, इसलिये चुम्बक गामक बल भी काफ़ी अधिक होते हैं। इस कारण कुंडलों के बीच बहुत काफ़ी स्यंद रहता है। चित्र 10-7 में, चित्र 10-5 वाले परिवर्तित्र के कुंडलों तथा आन्तरक का अनुप्रस्थ-छेदन रेखाचित्र दिखाया गया है। उच्च वोल्टता कुंडल (दिखाये गये विशिष्ट क्षण पर) एक चुम्बक गामक बल उत्पन्न करते हैं, जो आन्तरक में प्रतिघटि (Anti-clockwise) दिशा में स्यंद स्थापित करने की चेष्टा करता है। द्वितीयक कुंडल, बराबर मान का विपरीत चुम्बक गामक बल उत्पन्न करते हैं। ये दो विरोधी चुम्बक गामक बल कुंडलों के बीच के स्थान में एक चुम्बकीय शक्मान्तर उत्पन्न करते हैं। इससे, वायु स्थान (Air Space) में एक परिणामी

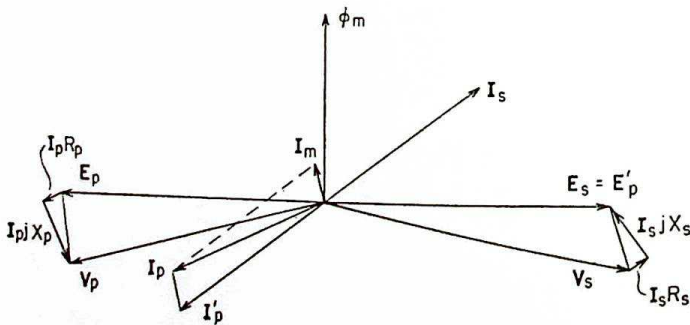
स्यंद उत्पन्न होती है, जो रेखाचित्र में ϕ_L से दिखाई गई है। यह स्यंद प्राथमिक एवं द्वितीयक की कुल धारा के साथ-साथ विचरण करती है; और इसलिये आन्तरक में मुख्य स्यंद के साथ काल-प्रावस्था में नहीं होती। आन्तरक की मुख्य स्यंद प्राथमिक वर्तन में प्रदीपन धारा के साथ प्रावस्था में होती है। इस च्यावी स्यन्द के विचरण से प्राथमिक और द्वितीयक वर्तनों में वोल्टतायें उत्पन्न होती हैं; जिनको प्रतिकारिता पात समझा जा सकता है। इस स्यंद का परिमाण, प्राथमिक एवं द्वितीयक कुंडलों के बीच चुम्बकीय पथ के प्रतियास और इस पथ पर क्रियाशील शुद्ध (Net) चुम्बक गामक बल के ऊपर निर्भर करता है। यह अवलोकित होगा कि चित्र 10-7 में दिखाये गये परिवर्तित्र में किसी भी च्यावी पथ के ऊपर केवल आधा ही प्राथमिक अथवा द्वितीयक चुम्बक गामक बल क्रियाशील होता है। शेल प्ररूपी परिवर्तित्र में उच्च वोल्टता को द्वितीयक के दो अर्ध भागों के बीच रखने से वैसी ही स्थिति प्राप्त होती है।

चित्र 10-7 : भारित अवस्था में परिवर्तित्र में च्यावी स्यंद

नोट—ϕ_L च्यावी स्यंद देशित करती है। यह मुख्य स्यंद ϕ_m पर निर्भर नहीं करती और भार धाराओं के साथ काल-प्रावस्था में होती है और प्रदीपन धारा में प्रावस्था में नहीं होती

चित्र 10-8 में च्यावी स्यंद और कुंडल रोध का, फ़ेज़र रेखाचित्र के ऊपर प्रभाव दिखाया गया है। इस रेखाचित्र में प्राथमिक एवं द्वितीयक की वोल्टताओं और धाराओं के लिए विभिन्न अनुमाप प्रयोग किये गये हैं। इस प्रकार, प्राथमिक एवं द्वितीयक में प्रेरित वोल्टताओं के फ़ेज़र एक ही परिमाण के दिखाये गये हैं। प्राथमिक भार धारा के फ़ेज़र का परिमाण द्वितीयक भार धारा के

फ़ेज़र के बराबर है। यह रेखाचित्र को ठीक समझने के लिये महत्वपूर्ण है, विशेषतया जहाँ पर परिवर्तन के अनुपात बड़े हों। मुख्य परिवर्तित्र स्यंद द्वारा प्ररोचित वोल्टता को प्रेष्टि (Reference) फ़ेज़र मान लिया जाता है।

द्वितीयक अवसान वोल्टता (Terminal Voltage), प्ररोचित वोल्टता से कम होती है। इनका अन्तर, रोध तथा च्यावी प्रतिकारिता का अभिभवन करने के लिए आवश्यक फ़ेज़र वोल्टताओं के बराबर होता है। इसी प्रकार प्राथमिक अवसान वोल्टता अथवा अरोपित वोल्टता, प्ररोचित वोल्टता से उस फ़ेज़र वोल्टता द्वारा बड़ी होनी चाहिए जो प्राथमिक वर्तन में रोध एवं च्यावी प्रतिकारिता पात का अभिभवन करने के लिये आवश्यक है।

चित्र 10-8 : **अनुगामी भार पर परिवर्तित्र फ़ेज़र रेखाचित्र**

अधिकांश परिवर्तित्रों में प्राथमिक एवं द्वितीयक के च्यावी प्रतिकारिता पात पूर्ण भार धारा पर क्षमित वोल्टता के 3% से 5% तक और रोध पात $\frac{1}{2}$ से $1\frac{1}{2}$ प्रतिशत तक ही होते हैं। **इस प्रकार अवबाधिता त्रिकोण** (Impedance Triangle) **ऊपर दिखाये गये चित्र के अनुपात में बहुत छोटे होते हैं।** यहाँ पर इन्हें

चित्र 10-9 : **अग्रित भार पर परिवर्तित्र फ़ेज़र रेखाचित्र**

15 से 20 प्रतिशत तक दिखाया गया है। साथ ही, इन पातों का अवसान वोल्टता पर प्रभाव, भार धारा के शक्ति खंड पर भी निर्भर करता है।

धारा के अग्रित होने पर, प्रतिकारिता वोल्टता पात, द्वितीयक वोल्टता को भारित दशा में भार-रहित दशा से अधिक करने की चेष्टा करता है, जैसा चित्र 10-9 में दिखाया गया है। कुछ विशिष्ट प्ररूप की विद्युत मशीनों में वोल्टता के थोड़े से व्यवस्थापन के लिये इस लक्षण का प्रयोग किया जाता है।

प्रदीपन धारा (Exciting Current)

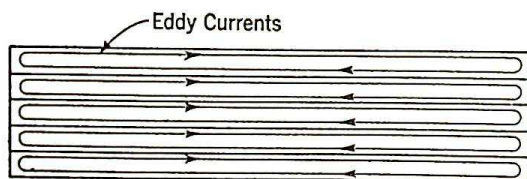
प्राथमिक वर्तन में, आरोपित वोल्टता के बराबर और विपरीत वोल्टता उत्पन्न करने के लिये, आन्तरक में स्यंद समय के साथ ज्यावर्ती विधि से परिवर्तन करती है। इस स्यंद को बनाये रखने के लिये चुम्बक गामक बल प्राथमिक वर्तन में चुम्बकन धारा द्वारा प्राप्त होता है। पूर्णतया लोहे से संघटित, चुम्बकीय परिपथ में, सतत परिवर्तनशील स्यंद के लिये आवश्यक चुम्बक गामक बल, मन्दायन पाशी से प्राप्त किया जा सकता है। यह चुम्बकन धारा ज्यावर्ती नहीं होती; क्योंकि जैसे-जैसे अधिकतम स्यंदन का उपगमन किया जाता है, वैसे-वैसे यह धारा भी शिखर रूप में बढ़ती जाती है।

यदि वोल्टता बढ़ाई जाय, तो अधिकतम स्यंद का मान भी अवश्य ही उसी अनुपात में बढ़ना चाहिए। परिवर्तित्रों का ऐसा अभिकल्प व्यवहारिक है, कि ये चुम्बकन वक्र की जानु से थोड़े ही नीचे के स्यंद घनत्वों पर प्रवर्तन करें। इसलिये यह निष्कर्ष निकलता है, कि वोल्टता और स्यंद की थोड़ी ही वृद्धि के कारण प्रदीपन धारा में अत्यधिक वृद्धि हो जायगी। इसलिये परिवर्तित्रों को क्षमित वोल्टता से 10 या 15 प्रतिशत अधिक वोल्टता पर प्रवर्तन कराने से, वे अत्यधिक गरम हो सकते हैं। तथापि, परिवर्तित्रों को क्षमित वोल्टता से कम पर प्रवर्तन कराया जा सकता है जब धारा क्षमता का अतिक्रमण न हो। (दृष्टान्त के लिये एक $10KVA$ के परिवर्तित्र को आधी वोल्टता पर भी तब तक प्रवर्तन कराया जा सकता है जब तक कि $10KVA$ क्षमता पर सामान्य धारा क्षमता का अतिक्रमण न हो जाय। इस प्रकार आधी वोल्टता पर $5KVA$ से अधिक भार प्रदाय न हो सकेगा)।

परिवर्तित्र अभिकल्प तथा उपयोगिता पर, वारंवारता का प्रभाव, वैमानिकी इंजीनियरों (Aeronautical Engineers) के लिये विशेष महत्व का है। चूँकि परिवर्तित्र में प्ररोचित वोल्टता स्यंद परिवर्तन की दर के अनुपात में होती है, इसलिये वारंवारता के बढ़ने से स्यंद के अधिकतम मान में कमी हो जायगी। इस कारण परिवर्तित्र के आकार में कमी करना संभव है। चूँकि वायुयान में भार को घटाना महत्वपूर्ण होता है, इसलिये इसके विद्युत् तन्त्र के लिए 400 चक्र प्रति सेकेंड की वारंवारता निश्चित की गई है। (400 चक्रीय परिवर्तित्र को, 50 चक्र पर प्रयोग करना संभव नहीं है; जब तक कि वोल्टता को, क्षमित वोल्टता के 50/400 के अनुपात में न घटा लिया जाय)।

परिवर्तित्र की हानियाँ और दक्षता
(Transformer Losses and Efficiency)

परिवर्त्रि में हानियाँ, अ० धा० मशीन की हानियों के समरूप ही होती हैं ; केवल घर्षण तथा वातज (Windage) हानियाँ नहीं होतीं। लौह हानियाँ (Iron Losses) विशेषतया महत्वपूर्ण होती हैं ; क्योंकि ये स्थिर होती हैं और चूँकि परिवर्तित्र सामान्यत: चौबीसों घंटे शक्ति लाइनों से युजित रहते हैं।

लौह हानियाँ दो प्रकार की होती हैं। पहली, मन्दायन के कारण जो दूसरे अध्याय में वर्णित की गई एक प्रकार की आणुविक (Molecular) अथवा मंडल (Domain) घर्षण हानि होती है। यह हानि, जो चुम्बकन की दिशा के प्रत्येक उत्क्रमण पर होती है, लोहे के ताप साधन (Heat Treatment), रचना, तथा वेल्लन पर निर्भर करती है। किसी विशेष पदार्थ एवं आन्तरक एकत्रण में, प्रति चक्र में हानि अधिकतम स्यंद घनत्व के साथ-साथ विचरण करेगी। किसी पदार्थ में मन्दायन हानि, मन्दायन पाशी के क्षेत्रफल के अनुपात में होगी। मन्दायन पाशी का क्षेत्रफल, अधिकतम स्यंद घनत्व के लगभग 1·6 घात $(B_{max}^{1 \cdot 6})$ के अनुपात में विचरण करता है। इस प्रकार परिवर्तित्रों में मन्दायन हानि को वोल्टता के 1·6 घात $(V^{1 \cdot 6})$ के अनुसार विचरण करता हुआ माना जा सकता है। यह वारंवारता के समानुपात में भी विचरण करेगी ; चूँकि यह हानि प्रत्येक चक्र में उतनी ही होती है।

चित्र 10-10 : **आपट्टित लौह आन्तरक में भँवर धाराओं के पथ**

दूसरे प्ररूप की ऊर्जा हानि, भँवर धाराओं के कारण होती है। चित्र 10-10 में आपट्टिकाओं (Laminations) की अंतदृशा दिखाई गयी है। काग़ज़ के तल से लम्बरूप, चुम्बकीय स्यंद को परिमाण में द्रुत वेग से विचरण करता हुआ माना गाया है; जिससे वह आपट्टिकाओं के परिणाह के चारों ओर एक वोल्टता जनित करती है। यह वोल्टता, आपट्टिकाओं के लोहे में एक धारा प्रवाहित करती है ; जो रेखाचित्र में तीर वाली रेखाओं द्वारा दिखाई गई है। लोहे के रोध में से प्रवाहित इस धारा के द्वारा उत्पन्न हुई ऊर्जा, ऊष्मा में परिवर्तित हो जाती है।

आपट्टिकाओं की मोटाई के साथ इस हानि के विचरण की विधि का विश्लेषण इस प्रकार किया जा सकता है। जब उनकी मोटाई को पहली मोटाई से आधा

कर दिया जाता है, तब भँवर धाराओं के लिये, वोल्टता जनन करने वाली स्यंद भी आधी हो जाती है। अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल के आधा हो जाने के कारण, धारा पथ का रोध दुगना हो जाता है। इस कारण धारा अपने पूर्व मान से लगभग $\frac{1}{4}$ ही रह जायगी। चूँकि शक्ति I^2R के बराबर होती है, इसलिये एक आपट्टिका के लिये शक्ति अपने पिछले मान की $(\frac{1}{4})^2 \times 2 = \frac{1}{8}$ हो जायगी। चूँकि उसी स्यंद के लिये अब दो आपट्टिकाओं की आवश्यकता होती है, इसलिये लोहे के उसी आयतन के लिये शुद्ध भँवर धारा हानि अपने पूर्व मान की $\frac{1}{4}$ होगी। स्यंद तथा वारंवारता की निश्चित दशा के लिये यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि भँवर धारा हानि लगभग, आपट्टिकाओं की मोटाई के वर्ग के अनुसार विचरण करती है।

एक निश्चित वारंवारता पर, अधिकतम स्यंद घनत्व के अनुसार भँवर धारा हानि का विचरण इस तथ्य पर आधारित होता है कि धारा, वोल्टता के समानुपात में विचरण करती है। वोल्टता, स्वयं, स्यंद घनत्व के समानुपात में विचरण करती है। चूँकि हानि, धारा के वर्ग के अनुसार विचरण करेगी, इसलिये हानि को किसी निर्दिष्ट वारंवारता पर अधिकतम स्यंद घनत्व अथवा वोल्टता के वर्ग के अनुसार विचरण करती हुई कहा जा सकता है।

यदि स्यंद घनत्व को स्थिर रक्खा जाय तो स्यंद में परिवर्तन की दर वारंवारता के अनुसार विचरण करेगी। स्यंद में इस परिवर्तन के परिणामस्वरूप वोल्टता तथा भँवर धारायें जनित होती है। इसलिये, यदि अधिकतम स्यंद घनत्व को स्थिर रक्खा जाय, तो इस हानि को वारंवारता के वर्ग के अनुसार विचरण करता हुआ कहा जा सकता है। वारंवारता के साथ हानि की तीव्रता से वृद्धि होने के कारण उच्च वारंवारता पर बहुत पतली आपट्टिकाओं के प्रयोग की आवश्यकता होती है।

यह प्रदर्शित किया जा चुका है, कि दोनो प्रकार की लौह हानियाँ, वारंवारता एवं अधिकतम स्यंद घनत्व के अनुसार विचरण करती हैं। विद्युत् इस्पात स्तारों के निर्माताओं से ऐसे वक्र प्राप्त किये जा सकते हैं, जिनसे विभिन्न वारंवारताओं पर, विभिन्न अधिकतम स्यंद घनत्व के लिये यह हानि ज्ञात की जा सकती है। प्रवर्तन के दृष्टिकोण से, इन हानियों का महत्वपूर्ण लक्षण यह है, कि ये एक दिये समय में, किसी अधिष्ठापन के लिये, अवश्यतः स्थिर होंगी। इसका कारण यह है, कि आरोपित वोल्टता (और इसलिये स्यंद घनत्व भी) तथा वारंवारता, दोनों ही, परिवर्तित्र के सामान्य उपयोग में, स्थिर रहते हैं। इसलिए शक्ति परिवर्तित्रों की लौह हानियों को, साधारणतया, स्थिर मान लिया जाता है।

परिवर्तित्र की लौह हानियों का उपर्युक्त स्पष्टीकरण थोड़े से अंतर के साथ, किसी भी विद्युत मशीन की लौह हानि के लिये उपयुक्त होगा; चाहे वह आवर्तित्र (Alternator), प्रोचन मोटर, अ० धा० मोटर अथवा अ० धा० जनित्र हो।

इसलिये विद्यार्थी को यह समझ लेना चाहिए कि यह स्पष्टीकरण, प्रत्येक मशीन के लिये दुहराया नहीं जायगा ; और जब भी लौह हानियों का उल्लेख किया जाय, वे उपर्युक्त प्रकार की ही होंगी।

परिवर्तित्र में, स्थिर लौह हानियों के अतिरिक्त, कुंडलों के रोध में से प्रवाहित भार धारा के कारण भी हानियाँ होती हैं। चूँकि कुंडल ताँबे के तार के बने होते हैं इसलिये इनका उल्लेख, बहुधा 'ताम्र हानियों (Copper Losses)' से किया जाता है। ये भार धारा के वर्ग के अनुसार विचरण करती हैं।

किसी भी मशीन की दक्षता, जिसमें स्थिर हानियाँ तथा भार के वर्ग के अनुसार विचरण करने वाली हानियाँ, दोनों ही होती हैं ; उस भार पर सबसे अधिक होती हैं, जिस पर स्थिर एवं विचरणशील दोनों ही हानियाँ बराबर हों। चूँकि परिवर्तित्र में, लौह हानियाँ निरंतर होती रहती हैं, और ताम्र हानियाँ केवल भारित होने की अवस्था में ही, इसलिये सामान्यतः, प्ररचना के अनुसार, लौह हानियों को कम ही रक्खा जाता है। इस प्रकार सामान्यतः, परिवर्तित्र की अधिकतम दक्षता, पूर्णभार के $\frac{1}{2}$ से $\frac{3}{4}$ भाग पर ही होती है।

अभ्यास 10-3 : 20 KVA के परिवर्तित्र में 250 वाट लौह हानि और पूर्णभार पर 500 वाट ताम्र हानि होती है। दक्षता को प्रतिशत पूर्ण भार धारा के विरुद्ध अंकित कीजिये।

अभ्यास 10-4 : 100 KVA, 6900/230 वोल्ट परिवर्तित्र में लौह हानि 900 वाट है। ताम्र हानियाँ, प्राथमिक एवं द्वितीयक के बीच बराबर-बराबर विभाजित हैं। यदि पूर्ण भार दक्षता 97·4% हो ; तो प्राथमिक एवं द्वितीयक दोनों ही वर्तनों का रोध निकालिये।

अभ्यास 10-5 : 50 KVA, 2300/230 वोल्ट 50 चक्र एकी फ़ेज़ परिवर्तित्र में आन्तरक हानियाँ 400 वाट हैं ; और पूर्णभार ताम्र हानियाँ 600 वाट हैं। 0·9 शक्ति खंड पर 40KW का भार वहन करते हुए दक्षता निकालिये।

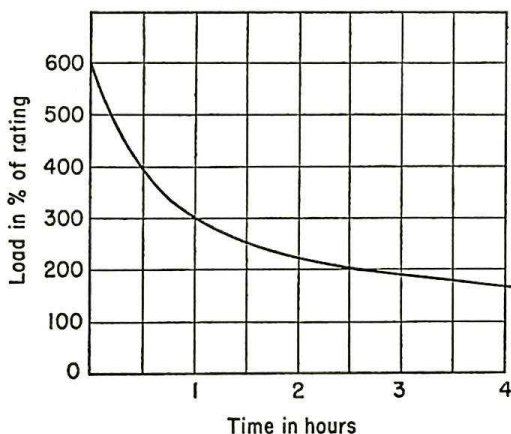
परिवर्तित्र क्षमता (Transformer Rating)

परिवर्तित्र वारंवारता, प्राथमिक एवं द्वितीयक वोल्टताओं तथा बिना अति तापन के वहन की जा सकने वाली धारा के आधार पर क्षमित किये जाते हैं।

लगभग सभी औद्योगिक परिवर्तित्र 50 चक्रीय परिपथों के लिये अभिकल्पित एवं प्रयुक्त होते हैं। वारंवारता में कमी के कारण, स्यंद में वृद्धि होती है, जो वोल्टता में तत्सम्बन्धी प्रतिशत वृद्धि के बराबर होती है।

निर्धारित वोल्टता वह होती है, जिस पर लौह आन्तरक का दक्ष उपयोग किया जा सके। कम वोल्टता प्रयोग करने से, स्यंद घनत्व भी कम होता है ; और परिवर्तित्र तभी तक संतोषप्रद रूप से कार्य करेगा जब तक धारा सीमा का अतिक्रमण नहीं होता। वोल्टता के कम होने के कारण यह अपनी पूर्ण शक्ति

क्षमता तक नहीं पहुँचेगा। यदि परिवर्तित्र का उच्च वोल्टता पर उपयोग किया जाय, तो लौह हानियाँ और प्रदीपन धारा तीव्रता से बढ़ जाती हैं और शून्य भार पर भी इनके कारण अति तापन उत्पन्न हो सकता है। परिवर्तित्रों का अभिकल्प, सामान्यतः, काफी उदारता से किया जाता है, इसलिये क्षमित वोल्टता से 10% तक की वृद्धि तक कोई कठिनाई नहीं होगी। किन्तु इससे अधिक वोल्टता अत्याधिक तापन उत्पन्न कर सकती है।

परिवर्तित्र के भार की मुख्य परिसीमा तापमान द्वारा निश्चित होती है। यह मुख्यतः परिवर्तित्र हानियों, शीतन तन्त्र तथा बाहरी वायु के तापमान पर निर्भर करती है (पानी के शीतन माध्यम होने वाली अवस्था को छोड़कर)। किसी भी परिवर्तित्र में शीतन तन्त्र निश्चित होता है; इसलिये प्रथमतः तापमान उन हानियों पर निर्भर करता है जो परिवर्तित्र के अन्दर ऊष्मा में परिवर्ति हो जाती हैं। स्थिर वोल्टता परिवर्तित्रों के लिये लौह हानि स्थिर होती है। इसलिये भार परिसीमा ताम्र हानियों द्वारा निर्धारित की जाती है जो अंततः भार धारा पर निर्भर करती हैं। बिना अति तापन के, परिवर्तित्र जिस भार को वहन कर सकता है उसे क्षमित वोल्टता तथा धारा के गुणन के रूप में निर्धारित किया

चित्र 10-11 : **विभिन्न भारों पर, सीमाकारक तापमान तक पहुँचने के लिये, परिवर्तित्र का समय**

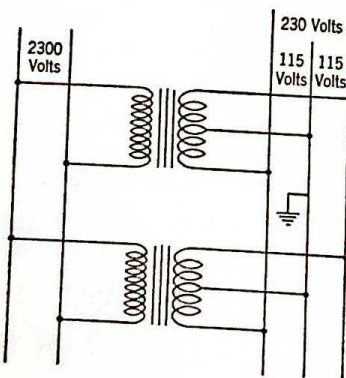
जाता है। अर्थात्, क्षमता वोल्ट-अम्पीयर अथवा किलो-वोल्ट-अम्पीयर (*KVA*) में निर्धारित की जाती है। इस प्रकार सामान्यतः; परिवर्तित्र को, निर्दिष्ट प्राथमिक तथा द्वितीयक वोल्टताओं, और उसकी विशिष्ठ *KVA* क्षमता के आधार पर निर्धारित किया जाता है। नामपट्टिका (Name Plate) पर, संभावी माला एवं समानान्तर युजन, और वोल्टता अनुपात के अल्प व्यवस्थापन के लिये दिये हुए निसूत्रक भी दिये रहते हैं।

परिवर्तित्र, निरंतर भार वहन के लिये क्षमित होते हैं। इसलिये इन्हें बिना क्षति पहुँचाये, अल्प समय के लिये अतिभारित (Overload) भी किया जा सकता है (यदि वे इसके पहले पूर्ण भार पर प्रवर्तन न कर रहे हों)। ठंढे दिनों में, वायु तापमान से क्षमित वृद्धि होने पर भी, तापमान भयबिन्दु के काफ़ी नीचे रह जायगा। प्रवर्तनशील परिवर्तित्र में, तात्क्षणिक भार की अपेक्षा, परिवर्तित्र का वास्तविक तपमान ही भय की कसौटी है। एक प्ररूप के परिवर्तित्र द्वारा, अल्प समय के लिये वहन हो सकने वाले भार को चित्र 10-11 में दिखाया गया है।

अभ्यास 10-6 : 70% शक्ति खंड पर 230 वो०, 40 अम्प० भार को प्रदाय करने के लिये कितने वड़े परिवर्तित्र की आवश्यकता होगी ?

अभ्यास 10-7 : किसी निर्माण कार्य में एक 20*KVA* ; 4100/230 वो० का परिवर्तित्र साधारणतया क्षमित भार के आधे पर प्रवर्तन करता है। उसको $1\frac{1}{2}$ घंटे के लिये 200 प्रतिशत भार पर चलाना है। निरीक्षक इंजीनियर की हैसियत से, क्या आप इस सुझाव का समर्थन करेंगे ? इस समस्या में नहीं दिये हुए ऐसे कौन से कारण हैं जो आपके निश्चय को प्रभावित करेंगे ?

परिवर्तित्रों का समानान्तर प्रवर्तन (Parallel Operation of Transformers) :—परिवर्तित्रों के समानान्तर प्रवर्तन के लिये निम्नलिखित बातें आवश्यक हैं :

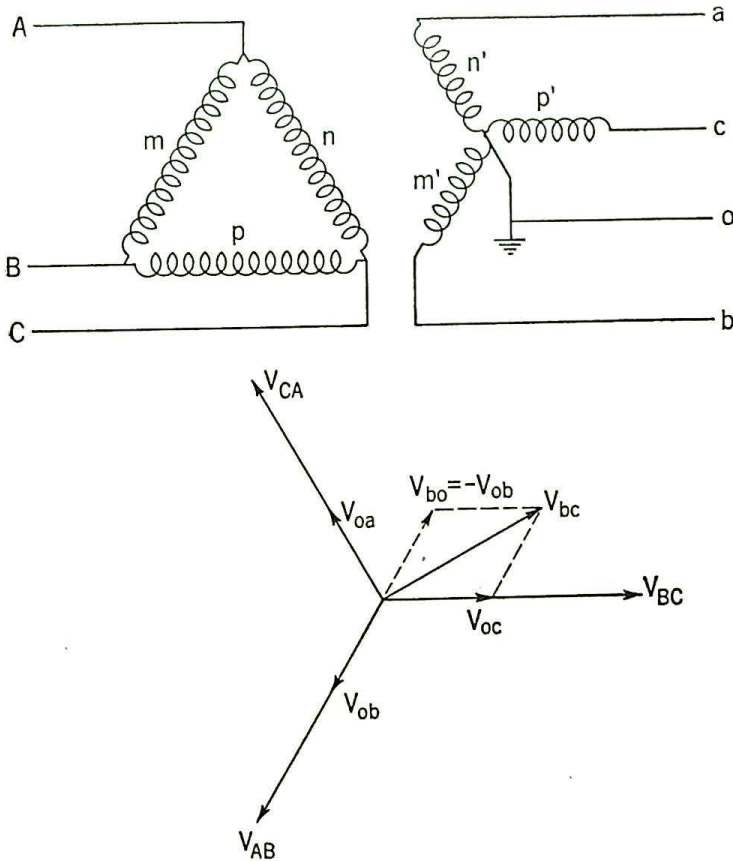
1. दोनों परिवर्तित्रों की वोल्टता क्षमता लगभग बराबर होनी चाहिए।
2. दोनों परिवर्तित्रों में प्राथमिक से द्वितीयक के वोल्टता अनुपात, ठीक एक ही होने चाहिये।
3. पूर्ण भार दशा में दोनों परिवर्तित्रों के अवबाधिता पात लगभग बराबर होने चाहिये।

चित्र 10-12 : **परिवर्तित्रों के समानान्तर प्रवर्तन के युजन**

इस प्रकार 2300/230 वोल्ट परिवर्तित्र को 2200/220 वोल्ट परिवर्तित्र के साथ समानान्तर में प्रवर्तित किया जा सकता है। यदि उनकी अवबाधितायें, उनकी क्षमताओं की प्रतीपानुपाती हों ; तो वे दोनों अलग-अलग भार का उचित भाग वहन करेंगे। साधारणतया, यदि पहली दोनों दशायें संतुष्ट हो जाँय ; तो दोनों परिवर्तित्रों से समानान्तर में संतोषप्रद प्रवर्तन की आशा की जा सकती है।

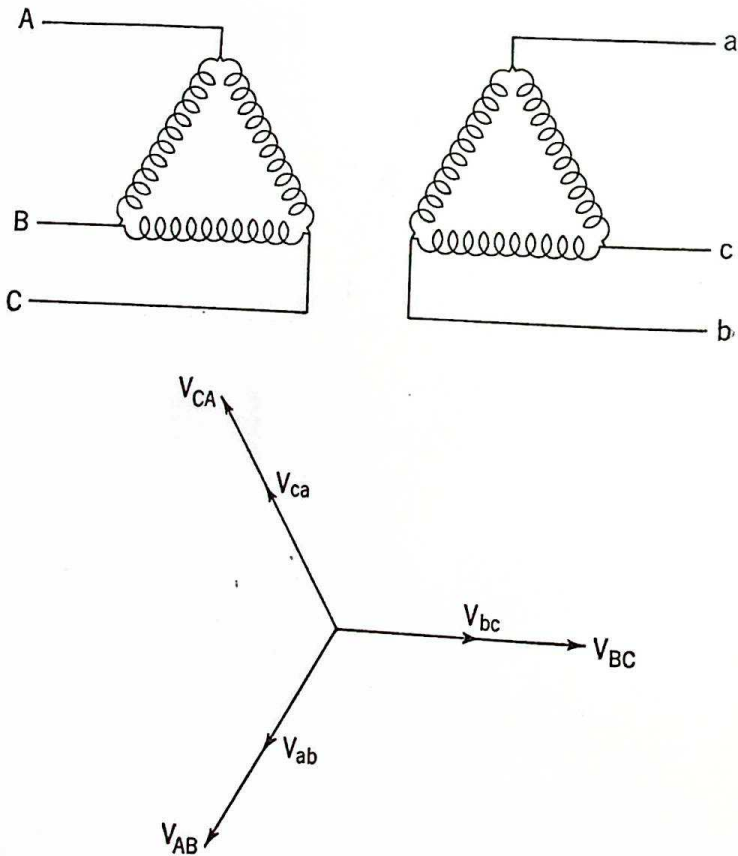
समानान्तर युजन की ऐसी विधि चित्र 10-12 में दिखाई गई है। युजन के पहले, ध्रुविता अथवा वोल्टता की दिशा

की जाँच करने में सावधानी वर्तनी चाहिये। यदि वे भौतिक रूप से समान रूप में युजित हों, किन्तु विभिन्न ध्रुविताओं के हों तो एक भयानक लघुपरिपथन हो जायगा। इसलिये समानान्तर में युजित करने से पहले, परिवर्तित्र के द्वितीयक में एक वोल्टमीटर द्वारा वोल्टता परीक्षण करना बुद्धिमत्ता होगी। यदि क्षमित द्वितीयक वोल्टता से दुगनी वोल्टता प्रकट हो, तो बाहरी दो वाहकों को उल्टा कर देने से कठिनाई दूर हो जायगी।

बहुफ़ेज़ी परिवर्तित्र युजन

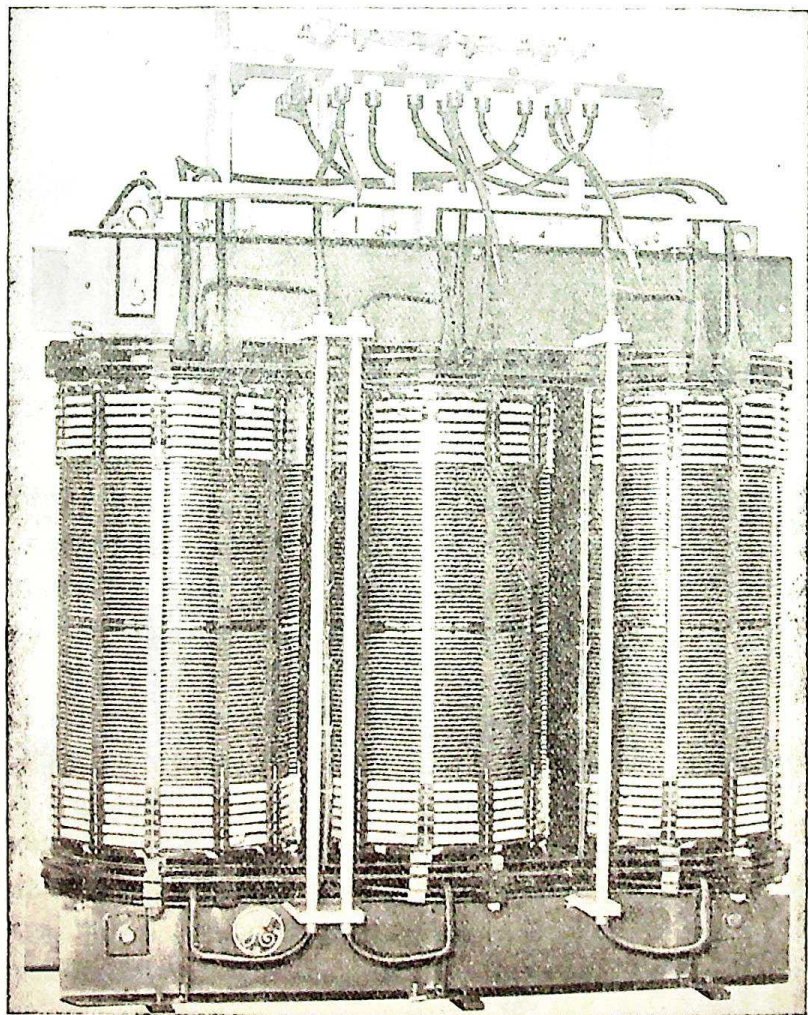
औद्योगिक उपयोगों के लिये, सामान्यतः त्रिफ़ेज़ शक्ति 2000 से 11000 वोल्ट तक पर प्रदाय की जाती है। औद्योगिक संयन्त्रों के अन्दर, विभाजन के लिये, इन वोल्टताओं का अल्प वोल्टताओं पर अवक्रमण करना आवश्यक होता है। यह अवक्रमण परवर्तित्रों द्वारा किया जाता है, और इसके लिए कितने ही प्रकार के युजन प्रयोग किये जा सकते हैं।

चित्र 10-13 : △-Y परिवर्तित्र युजन

सबसे पहले चित्र 10-13 में दिखाये गये △-Y युजन का पर्यालोचन किया जायगा। इसमें उच्च वोल्टता वर्तन, उच्च वोल्टता लाइनों के आर-पार युजित हैं। प्रत्येक परिवर्तित्र से, एक द्वितीयक वाहक भूमि तार (Ground Wire) से युजित होता है; तथा दूसरे वाहक लाइन वोल्टताओं को प्रदाय करते हैं। क्लीव तार से, उचित वाहकों के युजन में सावधानी बर्तनी चाहिये ; जिससे द्वितीयक परिपथ के बाहरी तारों के आर-पार संतुलित बहुफ़ेज़ी वोल्टता प्राप्त हो। इन बाहरी तारों के आरपार वोल्टमीटर परीक्षण द्वारा यह ज्ञात किया जा सकता है कि वे ठीक-ठीक युजित हैं या नहीं।

यह द्वितीयक तंत्र, पहले अध्ययन किया हुआ, त्रिफ़ेज़ चार तार तन्त्र है। इस तन्त्र को प्रदाय करने के लिये, परिवर्तित्र युजन की, यह सर्व सामान्य विधि है। यह नोट करना महत्वपूर्ण है, कि फ़ेज़ तारों के बीच वोल्टता, प्राथमिक फ़ेज़ वोल्टता से 30° हटी हुई है। लाइन वोल्टता V_{bc}, फ़ेज़ वोल्टता V_{bo} और V_{oc} को जोड़ने से (दिष्टयोग) प्राप्त होती है और इस प्रकार यह 30° विलगित हो जाती है।

चित्र 10-14 : △-△ परिवर्तित्र युजन

परिवर्तित्र युजन की दूसरी सामान्य विधि चित्र 10-14 में दिखाई गई है। मोटर तथा अन्य भारी औद्योगिक भारों को त्रिफ़ेज़ शक्ति प्रदाय करने में, बहुधा इसका उपयोग किया जाता है। इस परिवर्तित्र युजन में, प्राथमिक एवं द्वितीयक फ़ेज़ वोल्टतायें प्रावस्था में होती हैं, जैसा कि दिष्ट रेखाचित्र के अध्ययन से अवलोकित होगा।

एक $\triangle-Y$ और $\triangle-\triangle$ परिवर्तित्र समूह को समानान्तर में प्रवर्तन कराना संभव नहीं क्योंकि द्वितीयक वोल्टताओं में 30° का प्रावस्था हटाव हो जाता है।

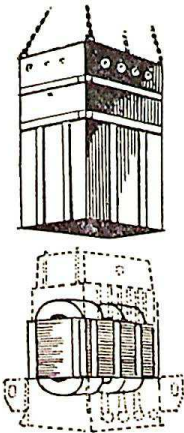
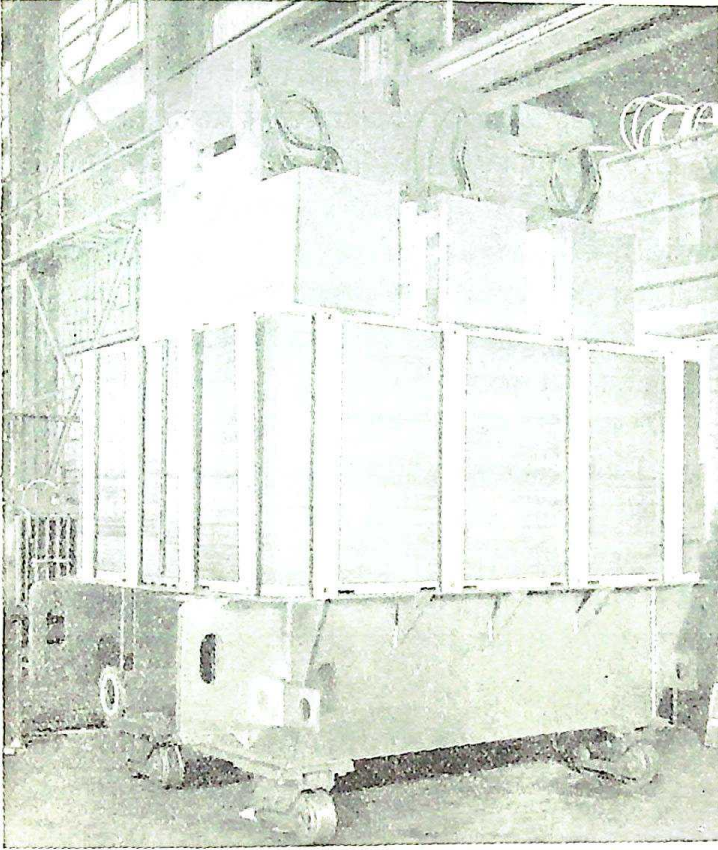
तीसरे प्रकार का सामान्य युजन, खुला $\triangle-\triangle$ अथवा $V-V$ प्रकार का है, जो $\triangle-\triangle$ जैसा ही होता है, पर 3 में से 1 फ़ेज़ को खुला छोड़ दिया जाता है।

चित्र 10-15 : **टंकी में रखने से पहले एक त्रिफ़ेज़ शक्ति परिवर्तित्र**

यह युजन उन विशेष परिस्थितियों के लिये है, जब तीन में से एक फ़ेज़ बेकार हो जाता है। यह उस स्थिति में भी प्रयोग किया जाता है जब आगामी कुछ वर्षों में भार वृद्धि की पूर्वविधारणा (Anticipation) हो अथवा भविष्य के लिये बड़ी क्षमता की योजना बनाना अपेक्षित हो, परन्तु तत्काल एक और परिवर्तित्र (एकीफ़ेज़) का खर्चा न्याय्य न हो। संतुलित बहुफ़ेज़ी भार पर, $V-V$ समूह में परिवर्तित्रों की क्षमता, दोनों परिवर्तित्रों की क्षमता के योग की 87% होती हैं अथवा पूर्ण $\triangle-\triangle$ समूह की क्षमता की 58%। क्षमता में इस कमी का कारण, यह तथ्य है, कि परिवर्तित्र धारा इसके आर-पार की वोल्टता के साथ प्रावस्था में नहीं होती।

बहुफेजी परिवर्तित्र (Polyphase Transformers)

यद्यपि विद्युत शक्ति विभाजन में, ऊपर दिये हुए बहुफ़ेज़ी युज़नों में से किसी एक विधि के अनुसार, बाहरी युजन कर, एकीफ़ेज़ परिवर्तित्रों का प्रयोग काफ़ी विस्तृत है, किन्तु एक त्रिफ़ेज़ परिवर्तित्र में सापेक्षतया पदार्थ, स्थान और श्रम की बचत होने के कारण, ये ही अधिक लोकप्रिय हैं। उच्च वोल्टता परिवर्तित्रों के लिये, यह विशेष रूप से सत्य है; जिनमें वाहक को परिवर्तित्र आवरण के बाहर निकालने के लिये, एक-एक बुशिंग का मूल्य कई हज़ार रुपये हो सकता है। इस प्रकार 6 बुशिंग के स्थान पर केवल 3 के प्रयोग से वास्तविक बचत होती है।

कभी-कभी तीन एकीफ़ेज़ परिवर्तित्र, एक ही आवरण के भीतर आरोहित होते हैं, और केवल बहुफ़ेज़ी युजन ही बाहर लाये जाते हैं। परिवर्तित्र के तीनों फ़ेज़ों के लिये केवल एक ही आन्तरक प्रयोग करने से और भी अधिक बचत होती है जैसा चित्र 10-15 में दिखाया गया है। इसमें, परिवर्तित्र का तीनों में से प्रत्येक फ़ेज़, आन्तरक के तीन पादों में से एक पर आरोहित होना है। किसी एक पाद की स्यंद, दूसरे दो पादों में से होकर वापस लौटती है। जब तक वोल्टतायें संतुलित होती है तब तक यह भी संतोषजनक रहता है, क्योंकि तीनों पादों में स्यंद परिमाण में बराबर और कालप्रावस्था में 120° विलगित होती हैं।

एक विकल्प आन्तरक प्ररचना, जिसे शेल प्ररूप का आन्तरक कहा जाता है, चित्र 10-16 में दिखाई गई है। इसमें, सामान्य स्यंद, तीन मुख्य पादों तक ही सीमित रहती है; किन्तु वोल्टताओं में असंतुलन के कारण, कुछ स्यंद उन बाहर वाले पादों में स्थानान्तरित हो जायगी, जिन पर कोई वर्तन नहीं हैं। इस रचना का मुख्य लाभ यह है कि परिवर्तित्र के एक फ़ेज़ के ख़राब हो जाने की परिस्थिति में, परिवर्तित्र को $V-V$ युजन में प्रवर्तित कराया जा सकता है। ऐसा करने के लिये, दोषी फ़ेज़ को वियुजित करके इसके वर्तन का लघुपरिपथन कर दिया जाता है। ऐसा करने से परिवर्तित्र के उस पाद में स्यंद प्रवाह नहीं होगा और उस फ़ेज़ की स्यंद बाहर वाले पादों में से होकर प्रवाहित होगी।

चित्र 10-16 : शेल प्ररूप के त्रिफ़ेज़ परिवर्तित्र की रचना । (टंकी दो भागों में हैं। ऊपरी भाग, आन्तरक तथा कुंडलों के ऊपर उठ जाता है। ये टंकी के निचले भाग में होती हैं।)

बहुफ़ेज़ी परिवर्तित्र, असामान्य अथवा जटिल युजनों के लिये, विशेषकर लाभदायक होते हैं। यह देखा गया है, कि परिवर्तित्र की द्वितीयक वोल्टतायें, प्राथमिक वोल्टताओं से लगभग सदैव ही प्रावस्था में होती हैं। वोल्टताओं का

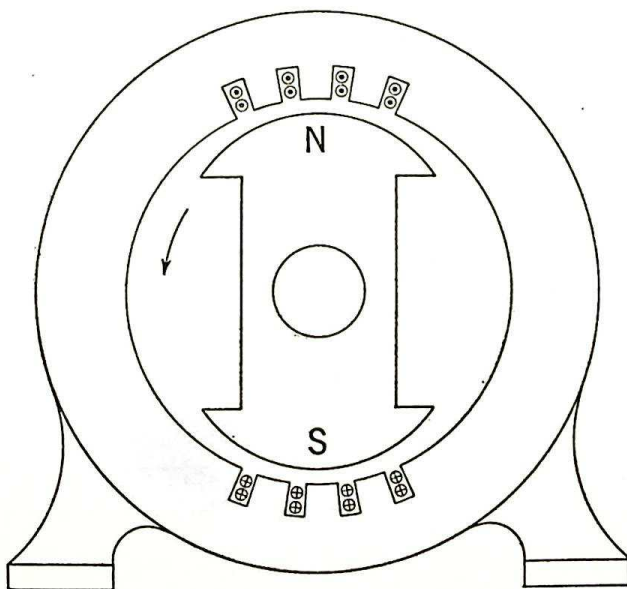
परिमाण, वर्तों के समानुपात में होता है। इन प्रारम्भिक दिष्ट वोल्टताओं का संयोजन में उपयोग करने से, किसी भी अपेक्षित परिमाण तथा प्रावस्था की द्वितीयक वोल्टता प्राप्त करना संभव है। विशेष प्रयोजनों के लिये बहुफ़ेज़ी परिपथों के कई जटिल विन्यास, पहले भी और अब भी प्रयोग में आ रहे हैं। इन युजनों के सरल प्रकार का एक दृष्टान्त, ऋजुकारियों के सोलहवें अध्याय में दिखाया हुआ ; छः परिवर्तित्र युजन है। युजन रेखाचित्र स्वतः स्पष्ट है। यदि त्रिफ़ेज़ द्वितीयकों के मध्य बिन्दु युजित कर दिये जाँए, तो अवसान वोल्टताओं का परिमाण उतना ही होगा और वे प्रावस्था में 60° विस्थापित होंगी। बहुफ़ेज़ी परिवर्तित्रों में ऐसे परिवर्तित्रों के द्वितीयकों के युजन सरल हो जाते हैं क्योंकि इन्हें आवरण के अन्दर ही युजित किया जा सकता है।

औद्योगिक अधिष्ठापनों में, आधुनिक प्रमाणिक उपस्थात्रों (Standardized Unit Substations) के लिये बहुफ़ेज़ी परिवर्तित्रों का उपयोग लगभग सार्वत्रिक है। परन्तु इसका मुख्य अलाभ (Disadvantage) यह है, कि विसंवाहन के दोषी हो जाने पर यह बिल्कुल बेकार हो जाता है। नये और श्रेष्ठतर विसंवाहन के विकास और श्रेष्ठतर अभिकल्पों के कारण ऐसी असफलतायें इतनी कम हो गई हैं, कि बंद होने के भय को न्याय्य ठहराया जा सकता है।

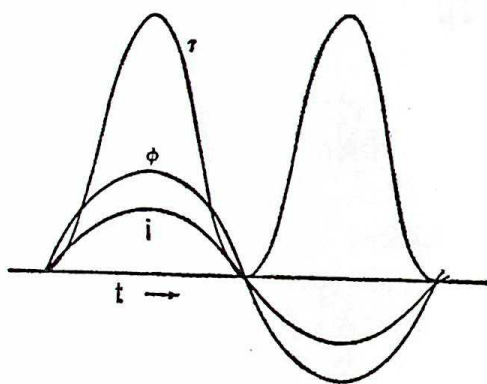
ग्यारहवाँ अध्याय

प्रत्यावर्ती धारा जनित्र

एकीफेज प्र० धा० जनित्र

अ० धा० जनित्रों के अध्ययन के समय यह पाया गया था, कि संवाहक के, चुम्बकीय क्षेत्र में होकर चलने से वोल्टता जनित होती है। संवाहक में धारा के प्रवाहित होने से एक बल की उत्पत्ति होती है, जो संवाहक तथा क्षेत्र की आपेक्षिक गति (Relative Motion) का विरोध करने की चेष्टा करता है। प्र० धा० जनित्रों में भी यही दशायें विद्यमान रहती हैं। अन्तर केवल यही होता है, कि अधिकांश प्र० धा० जनित्रों में, क्षेत्र ध्रुव (जो अ० धा० द्वारा प्रदीपित होते हैं) घूमने वाला अर्थात् भ्रामक अंशक (Rotating Element) तथा धात्र स्थिर अंशक बनाया जाता है। इस प्रकार वोल्टता जनन करने के हेतु, चुम्बकीय क्षेत्र, धात्र संवाहकों का अपोहन करता है।

चित्र 11-1 : **एकीफ़ेज़ आवर्तित्र का सरल रेखाचित्र**

दो ध्रुवों वाला एक सरल प्र० धा० जनित्र, चित्र 11–1 में दिखाया गया है। ध्रुव संवाहकों का अपोहन करते समय मशीन के ऊपरी भाग में, कागज के तल से बाहर की ओर, और नीचे वाले भाग में अन्दर की ओर, वोल्टता जनित होगी। जब इन संवाहकों को माला युजन द्वारा कुंडल के रूप में बनाकर;

और फिर इन कुंडलों को माला में युजित कर दिया जाता है, तब वर्तन में काफ़ी वोल्टता उत्पन्न हो जाती है। जनित वोल्टता का परिमाण, केवल क्षेत्र ध्रुवों के स्यंद घनत्व पर ही नहीं, वरन् धात्र की लम्बाई, परिणाह गति (Peripheral Velocity) तथा कुंडलों में वर्तों की संख्या पर भी निर्भर करेगा।

i - Current in Armature Winding
φ - Field Flux on Axis of Armature Winding
τ - Torque or Retarding Force on Rotor

चित्र 11-2 : **एकीफ़ेज रोध भार के होने पर जनित्र की विभ्रमिषा का काल विचरण**

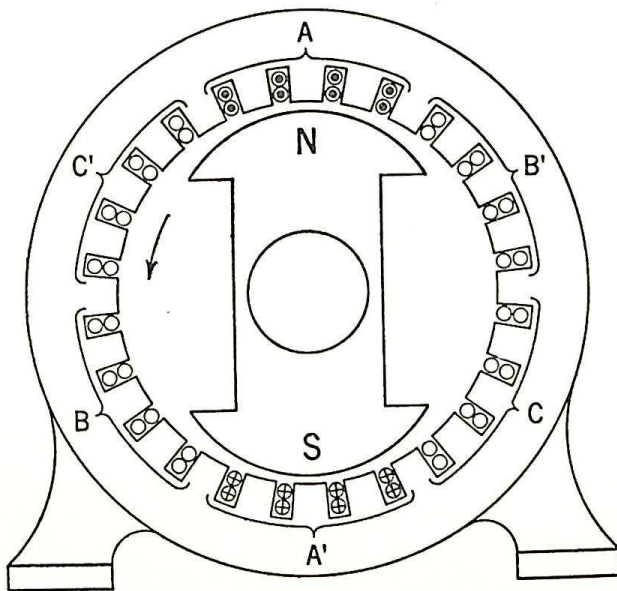
चित्र 11–1 में दिखाई स्थिति से चौथाई परिक्रमण बाद, संवाहक ध्रुवों के नीचे नहीं रह जायँगे। इस दशा में, वोल्टता नहीं जनित होगी। आधे परिक्रमण के बाद, उत्तरी ध्रुव, नीचे वाले संवाहकों का, तथा दक्षिणी ध्रुव, ऊपर वाले संवाहकों का अपोहन करेगा। इस कारण, वोल्टता विपरीत दिशा में अधिकतम होगी। यही प्रत्यावर्ती वोल्टता है। यदि मशीन के चारों ओर स्यंद घनत्व का वितरण ज्यावर्ती कर दिया जाय, तो वर्तन में वोल्टता का काल विचरण भी, ज्यावर्ती हो जायगा। यदि ज्यावर्ती वितरण प्राप्त न हो सके, तो वर्तन का चार खाँचों में विभाजन, स्यंद तरंग में अनियमितात्रों का निष्फलन करने का प्रयास करेगा।

यदि चित्र 11–1 की मशीन के वर्तन के अवसान एक रोधक से युजित कर दिये जाँय, तो एक धारा प्रवाहित होगी। जनित्र में यह धारा प्रवाह ऐसी दिशा में होगा, जो क्षेत्र की गति का विरोध करेगा। इसलिये क्षेत्र के घूमने पर यह एक विमन्दन बल का अनुभव करेगा। प्रत्येक वार जब ध्रुव ऊर्ध्वाधर अक्ष पार करेंगे तब यह अधिकतम होगा और क्षैतिज अक्ष के अपोहन पर यह शून्य हो जायगा। विमन्दन बल अथवा विभ्रमिषा, धात्र संवाहकों में प्रवाहित धारा तथा क्षेत्र चंडता के गुणन के अनुपात में होती है। चूँकि मशीन के परिणाह के चारों ओर क्षेत्र चंडता को ज्यावर्ती विधि से विचरण करता हुआ माना गया है और चूँकि क्षेत्र एक समान कोणीय प्रवेग (Uniform Angular Velocity) से परिभ्रमण करता है, इसलिये संवाहकों की विभिन्न स्थितियों में क्षेत्र चंडता, काल के साथ ज्यावर्ती रूप में विचरण करेगी। जब ध्रुव क्षैतिज होगा तब यह शून्य हो जायेगी। चूँकि क्षेत्र अक्ष के क्षैतिज होने पर धारा भी उसी प्रकार

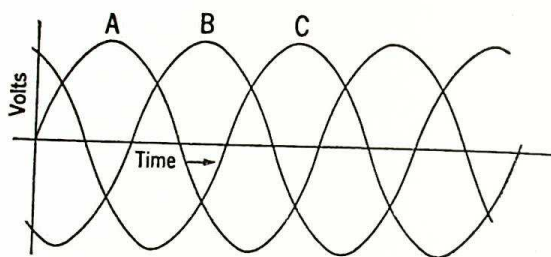
शून्य हो जाती है इसलिये यह स्यंद के साथ प्रावस्था में होगी। चित्र 11–2 में, परिणामी विभ्रमिषा को, तात्क्षणिक धारा और स्यंद को गुणा करके दिखाया गया है। आकृति में, यह विभ्रमिषा, एकीफ़ेज़ परिपथ में शक्ति के एक समान है, जिसका अध्ययन सातवें अध्याय में किया गया था। वहाँ पर यह दिखाया गया था कि यह तात्क्षणिक शक्ति एक स्थिर राशि, तथा सामान्य प्रावस्था कोण के दुगने की कोज्या के अन्तर के बराबर है। इस प्रकार आदा शक्ति, विभ्रमिषा तथा कोणीय वेग को गुणा करके मापी जाती है; तथा प्रदा शक्ति (Power Output) वोल्टता तथा धारा को गुणा करके मापी जाती है।

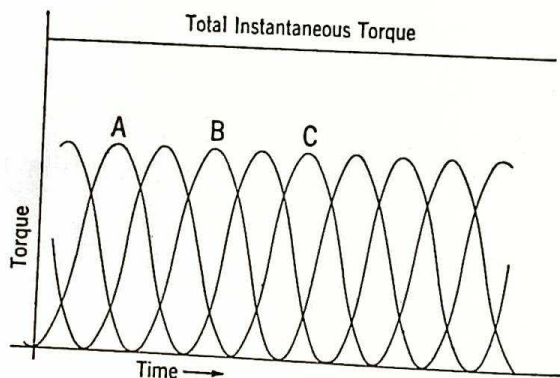
छोटी एकीफ़ेज़ मशीनों में, विभ्रमिषा का यह द्रुत स्पन्दन, शोर तथा कम्पन (Vibration) उत्पन्न कर देता है। बड़ी एकीफ़ेज़ मशीनों का वज़न इतना अधिक होता है, कि शक्ति वारंवारता पर कम्पन नहीं होने पाता।

बहुफ़ेज़ी प्र० धा० जनित्र

चित्र 11–1 में दिखाई गई मशीन में धात्र वर्तन के लिए परिणाह का केवल $\frac{1}{3}$ भाग प्रयुक्त होता है। इसलिये मशीन में, दो और वर्तन रखना संभव है, जो चित्र 11–1 में दिखाये गये वर्तन के समरूप हों। चित्र 11–3 में,

चित्र 11-3 : **त्रिफेज आवर्तित्र का सरल रेखाचित्र**

एक ऐसी ही तीन समान वर्तन वाली मशीन दिखाई गई है। प्रत्येक संवाहक समूह को, एक विशिष्ठ नाम दिया गया है। ऊर्ध्वाधर अक्ष वाले वर्तन का नाम फ़ेज़ A है। फ़ेज़ B वाली वर्तन, परिणाह पर इसके 120° बाद में है, तथा

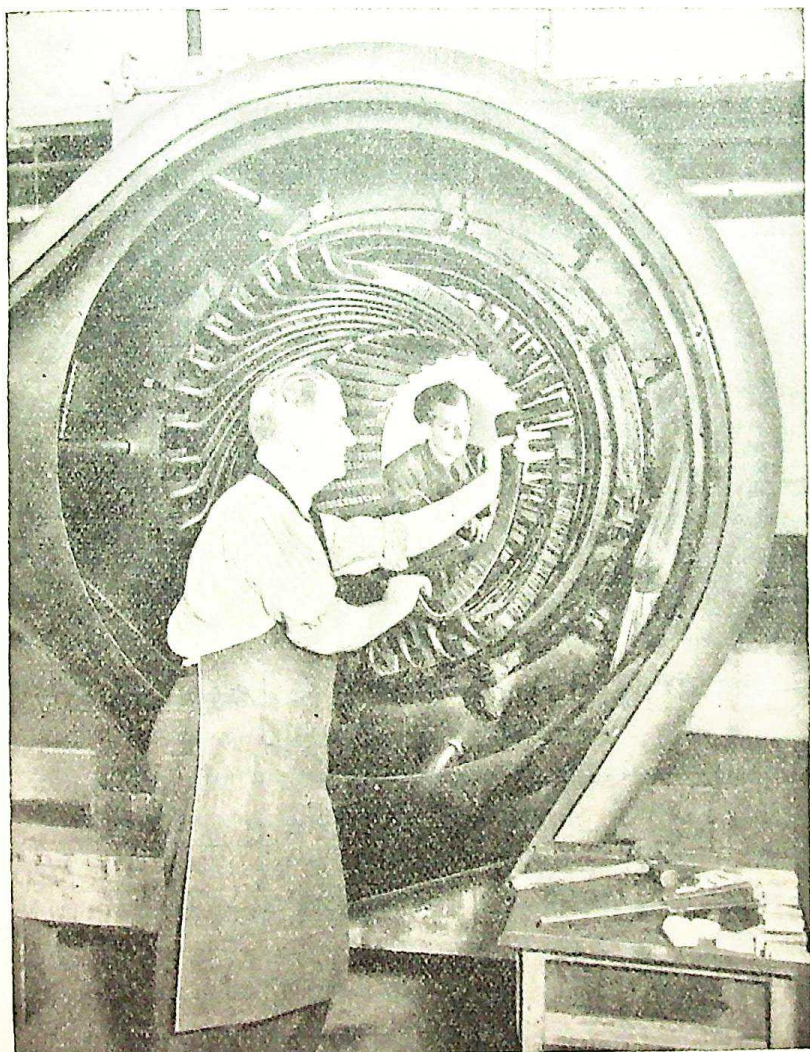
फ़ेज़ C, 240° बाद में। इन फ़ेज़ों में जनित वोल्टताओं को चित्र 11–4 में दिखाया गया है। ये ही त्रिफ़ेज़ वोल्टतायें हैं, जिनका अध्ययन आठवें अध्याय में किया गया था।

Phase Voltages in a Three Phase Winding

(a)

Torque in a Three Phase Generator with Resistance Load

(b)

चित्र 11-4 : (a) **त्रिफेज वर्तन में फ़ेज वोल्टताएँ** (b) **रोध भार पर, त्रिफेज जनित में विभ्रमिषा**

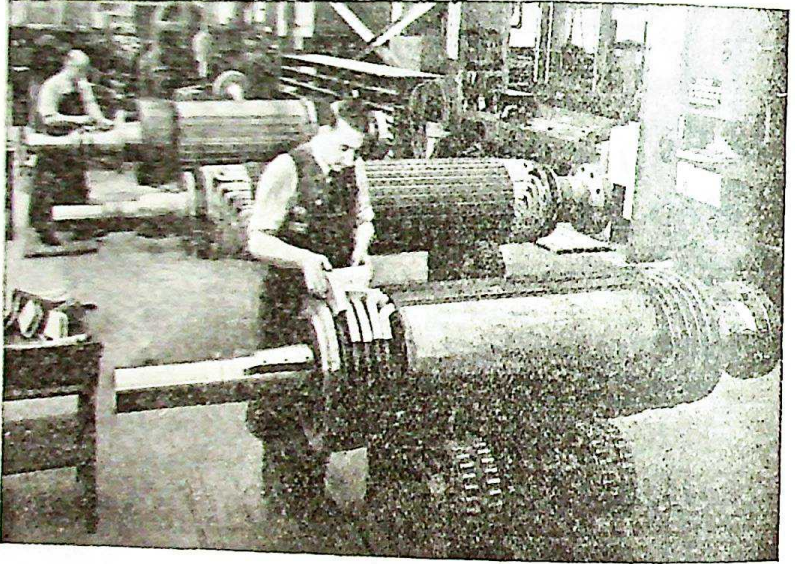
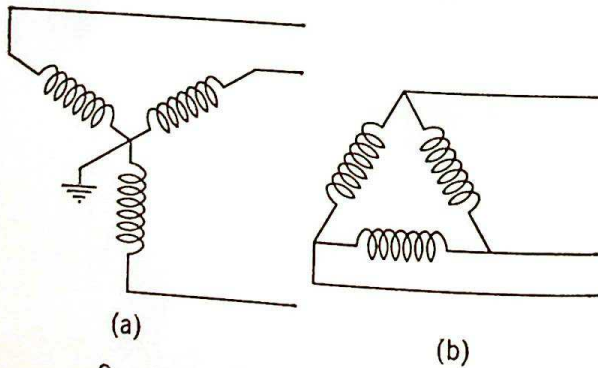
यदि प्रत्येक फ़ेज में समान रोधक युजित कर दिये जाँय, तो संतुलित धारायें प्रवाहित होंगी। ये धारायें परिमाण में बराबर और समय में 120° अलग होती हैं। प्रत्येक फ़ेज़ के लिये जनित्र पर विभ्रमिषा, चित्र 11–2 में दिखाई आकृति के अनुसार होगी। तीनों में से प्रत्येक फ़ेज़ के लिये विभ्रमिषा, चित्र 11–4 (*b*) में अंकित की गई है। किसी भी क्षण पर तीनों फ़ेज़ों की विभ्रमिषा का योग एक स्थिर राशि पाया जायगा। यह स्थिर मान, प्रत्येक फ़ेज़ के औसत मान का तीन गुना होगा। आठवें अध्याय में शक्ति के लिये भी एक ऐसा ही सम्वन्ध विकसित किया गया था। स्थिर विभ्रमिषा की धारणा को एक और प्रकार से भी समझा जा सकता है। जब भ्रमिता *A* फ़ेज के अक्ष में है तो इस फ़ेज़ में धारा अधिकतम होगी। इस कारण, इसकी विमन्दन विभ्रमिषा भी

अधिकतम होगी। जैसे-जैसे भ्रमिता, A फ़ेज़ के अक्ष से B फ़ेज़ के अक्ष की ओर बढ़ती जाती है, वैसे-वैसे फ़ेज A की विभ्रमिषा घटती जाती है किन्तु फ़ेज़ B की विभ्रमिषा बढ़ती जाती है। इस प्रकार के वर्तनों में, प्रत्येक फ़ेज़, क्षेत्र ध्रुवों के प्रभाव में आने पर, विमंदन विभ्रमिषा के अपने-अपने भाग का उन्नयन (Pick up) कर लेता है।

चित्र 11-5a : **टर्बाइन जनित्र के स्थावर धात्र के खांचों में कुंडलों का स्थापन**

त्रिफ़ेज़ मशीनों (जनित्रों अथवा मोटरों) की यह स्थायी विभ्रमिषा इनके मुख्य लक्षणों में से एक है, क्योंकि इसके कारण, एकीफ़ेज़ मशीन की अपेक्षा, उतने ही बड़े आकार वाली मशीन की क्षमता बहुत अधिक हो सकती है। अथवा

एकीफ़ेज़ मशीन के समान क्षमता, एक छोटी तथा सस्ती त्रिफ़ेज़ मशीन द्वारा प्राप्त हो सकती है। एकतान विभ्रमिषा का गुण, केवल त्रिफ़ेज़ मशीनों तक ही सीमित नहीं है वरन् सभी बहुफ़ेज़ी मशीनों के लिये समान है। क्योंकि सभी जगह, लगभग सभी बहुफ़ेज़ी सज्जा त्रिफ़ेज़ ही होती है, इसलिये मूलत: त्रिफ़ेज़ सज्जा का ही अध्ययन किया जायगा।

त्रिफ़ेज जनित्र युजन (Three-Phase Generator Connections)

चित्र 11–3 की मशीन के तीनों फ़ेज़ वर्तन स्वतंत्र हैं, तथा तीन स्वतंत्र एकीफ़ेज़

चित्र 11-5b : टर्बाइन जनित्र के भ्रमिता क्षेत्र के सिरे के वर्तनों पर 'अल्यूमिनियम सेडिल्स' का स्थापन

चित्र 11-6 : त्रिफेज जनित्रों के युजन

तन्त्रों को शक्ति प्रदाय कर सकते हैं। तथापि ऐसा करने से विभाजन तंत्र (Distribution System) में ताँबे की बचत नहीं होती। इस कारण

कुंडलों को सदैव ही त्रिफ़ेज़ जनित्र की रचना करने के लिये अन्तर्युजित किया जाता है। यह, आठवें अध्याय में समझाई गई, किसी भी एक विधि से किया जा सकता है। यदि प्रत्येक कुंडल का एक-एक सिरा, सम (Common) अवसान से इस प्रकार युजित किया जाय, कि दूसरे तीन अवसानों की वोल्टतायें, काल प्रावस्था में 120° अलग-अलग हों तो मशीन को Y–युजित कहा जाता है, जैसा चित्र 11–6(a) में दिखाया गया है। यदि चित्र 11–6(b) के अनुसार, वर्तनों को इस प्रकार युजित किया जाय, कि वे अपने आप पर ही आकर बंद हो जाएं, तो मशीन को $\triangle$ युजित कहा जाता है। इस युजन विधि में उचित (फ़ेज) प्रावस्था सम्बन्धों को बनाये रखने में पूरा ध्यान रखना चाहिये ; अन्यथा परिपथ के चारों ओर वोल्टताओं का योग शून्य नहीं होगा ; और परिणामत:, लघु परिपथन हो जायगा।

पारेषण (Transmission) तथा विभाजन परिवर्तित्रों को शक्ति-प्रदाय करने वाले, बड़े जनित्रों के लिये, सामान्यत: Y–युजन ही अच्छा समझा जाता है। इसमें, भूमि शक्म (Ground Potential) को स्थापित करना सरल होता है, और विसंवाहन पर प्रतिबल, अल्पतम होता है। साथ ही साथ, विसंवाहन के दोषी हो जाने पर, मशीन का वियुजन करने के हेतु, सरल किन्तु हृष, भेददर्शी रिले (Differential Relay) का प्रयोग करना संभव होता है।

चित्र 11–5 में दिखाए, प्र० धा० मशीनों के वर्तन, अ० धा० मशीनों की अपेक्षा कुछ कम जटिल होते हैं। प्रत्येक फ़ेज़ में, कुंडलों का विन्यास बहुत सरल होता है और उनकी वोल्टता एक दूसरे के साथ जुड़कर 'फ़ेज़ वोल्टता' बनाती है। चित्र 11–3 के वर्तन में, एक फ़ेज़ के सभी संवाहक, 60° फ़ेज़ कटिबन्ध में स्थित हैं। इसके लिये यह अपेक्षित है, कि कुंडल पार्श्वों के बीच की दूरी, पूर्ण ध्रुव अन्तराल के बराबर हो। पूर्ण अन्तराल से कुछ कम अन्तराल का प्रयोग कर, संवाहकों के सिरों के योजकों की लम्बाई कम की जा सकती है, तथा ताँबे में बचत करना संभव है। ऐसा करने से, दो निकटवर्ती फ़ेज़ों के कुंडल पार्श्व (Coil Sides), एक ही खाँचे में स्थित हो जाते हैं। उपलब्ध, कुल वोल्टता तो अवश्य ही कम हो जाती है किन्तु वोल्टता की तरंग आकृति सुधर जाती है तथा मशीन का प्रवर्तन अच्छा हो जाता है। धात्र के चुम्बक गामक बल का परिणाह के चारों ओर विभाजन भी अधिक ज्यावर्ती हो जाता है। इन कारणों से अधिकांश मशीनों के धात्र वर्तन का कुंडल अन्तराल (Coil Pitch) एक ध्रुव अन्तराल से कुछ कम ही रक्खा जाता है।

आवर्तित्र की संगणनायें (Alternator Calculations)

इन सम्बन्धों को प्रदर्शित करने के लिये, एक सरल मशीन की वोल्टता और विभ्रमिषा की संगणनायें की जायेंगी।

उदाहरण : रेखाचित्र 11–3 में दिखाए गये प्र० धा० जनित्र के समान (जिसकी रचना चित्र 11–5 में दिखाई गई है) 24 धात्र खाँचे हैं। कुंडल पूर्ण अन्तराल के हैं तथा तीन फ़ेज़ों में समूहित हैं, जैसा चित्र 11–3 में दिखाया गया है। दो क्षेत्रध्रुवों का भ्रमिता (Rotor), 3600 प० प्र० मि० पर परिभ्रमण करता है। स्यंद का विभाजन ज्यावर्ती है; और वायु विच्छद में उसका अधिकतम मान 50,000 रेखा प्रति वर्ग इंच है। धात्र का आन्तरिक व्यास 12″ है, तथा उसकी सक्रिय लम्बाई 30 इंच है।

(*a*) 2400 वोल्ट की फ़ेज़ वोल्टता के लिये, प्रत्येक कुंडल में कितने वर्तों की आवश्यकता होगी?

(*b*) Y–युजित होने पर लाइन वोल्टता कितनी होगी?

(*c*) यदि मशीन का एक फ़ेज़, इकाई शक्ति खंड पर, 100 अम्प० की धारा वहन कर रहा हो, तो अधिकतम तात्क्षणिक विभ्रमिषा क्या होगी?

(*d*) 100 अम्प० प्रतिफ़ेज़ के त्रिफ़ेज़ भार के लिये, स्थाई विभ्रमिषा क्या होगी? (17·3 अम्प० लाइन धारा, यदि $\triangle$ युजित हो)

(*e*) कितनी शक्ति जनित होगी?

समाधान : जैसा रेखाचित्र में दिखाया गया है, प्रत्येक कुंडल का एक पार्श्व, एक खाँचे की तली में तथा दूसरा पार्श्व ठीक सामने वाले खाँचे के शीर्ष में होगा। इन कुंडल पार्श्वों में वोल्टता एक दूसरे के साथ जुड़ जाती है। साथ ही एक खाँचे में दो कुंडल पार्श्व होंगे। संगणना के लिये, यह मान लिया जाता है, कि प्रत्येक कुंडल में एक वर्त है। जब ध्रुव, चित्र 11–3 में दिखाई स्थिति में हो, और 3600 प० प्र० मि० पर परिभ्रमण कर रहा हो; उस स्थिति में, फ़ेज AA' की तात्क्षणिक वोल्टता की संगणना की जाती है।

(1) एक वर्त में तात्क्षणिक वोल्टता निकालिये।

$$e = Blv \times 10^{-8}$$

जिसमें $l = 30''$, $v = 12\pi \times 60 = 2260$ इंच प्रति सेकंड, $B = 50000$ रेखायें प्रति वर्ग इंच है। θ, ध्रुव अक्ष तथा खाँचे के केन्द्र के बीच का कोण है। ध्रुव अक्ष से $7\frac{1}{2}^\circ$ पर स्थित चार खाँचे हैं। प्रत्येक में दो कुंडल पार्श्व अथवा दो संवाहक हैं। इस प्रकार चारों खाँचों द्वारा संघटित वोल्टता :

$$e' = 50000 \times \cos(7\tfrac{1}{2}^\circ) \times 30 \times 2260 \times 8 \times 10^{-8} \text{ वोल्ट}$$
$$= 269 \text{ वोल्ट}$$

ध्रुव अक्ष से $22\frac{1}{2}^\circ$ के अन्तर पर भी चार खाँचे हैं और वोल्टता में उनका अंशदान (Contribution) :

$$e'' = 50000 \times \cos(22\tfrac{1}{2}^\circ) \times 30 \times 2260 \times 8 \times 10^{-8} \text{ वोल्ट}$$
$$= 251 \text{ वोल्ट}$$

इसलिये किसी भी एकी वर्त कुंडल में अधिकतम कुल वोल्टता, 269+251=520 वोल्ट होगी ।

(2) 2400 वो० प्रभावी वोल्टता के लिये आवश्यक वर्त संख्या निकालिये ।

चूंकि 520 वोल्ट, अधिकतम तात्क्षणिक वोल्टता है इसलिये प्रभावी वोल्टता

$$=\frac{520}{\sqrt{2}}=367 \text{ वोल्ट}$$

अपेक्षित वर्त संख्या$=\frac{2400}{367}=6{\cdot}54$ वर्त

चूंकि वर्त संख्या का भिन्न (Fraction) होना असंभव है, इसलिये 6 या 7 वर्त प्रयोग करना आवश्यक होगा । इस प्रकार अपेक्षित वोल्टता को जनित करने के लिये, क्षेत्र स्यंद का व्यवस्थापन करना पड़ेगा ।

'इस संगणना में 7 वर्त माने जाँयगे ।'

चूंकि 7 वर्त प्रयोग किये जा रहे हैं, इसलिये स्यंद को घटाना आवश्यक होगा ; जिससे स्यंद घनत्व एवं वर्त संख्या का गुणन उतना ही रहे । इस प्रकार,

$$7\times B'=6{\cdot}54\times 50000$$

$$B' =50000\times 6.54/7=46{,}600 \text{ रेखा प्रति वर्ग इंच ।}$$

(3) Y-युजन होने पर लाइन वोल्टता :

$$2400\times\sqrt{3}=4130 \text{ वोल्ट होगी}$$

(4) एक फ़ेज़ में 100 अम्प० धारा प्रवाहित होने की दशा में, अधिकतम तात्क्षणिक विभ्रमिषा निकालिये ।

100 अम्प० प्रभावी धारा का अधिकतम मान$=100\sqrt{2}=141$ अम्प० है। यह धारा तब उत्पन्न होगी, जब ध्रुव स्यंद, इस फ़ेज़ के तल के समकक्ष होगा। प्रत्येक खाँचे में 14 संवाहक होंगे तथा प्रत्येक में 141 अम्प० धारा प्रवाहित होगी। इसलिये प्रत्येक खाँचे में बल अथवा विभ्रमिषा उत्पन्न करने वाली धारा, $14\times 141=1980$ अम्प होगी

तीसरे अध्याय से, $F=8{\cdot}84\ BlI\times 10^{-8}$ पौंड

ध्रुव अक्ष से $7\frac{1}{2}^\circ$ पर स्थित चार खाँचों द्वारा उत्पन्न बल :

$F'=8{\cdot}84\times 46600\times \cos 7\frac{1}{2}^\circ\times 30\times 1980\times 4=970$ पौंड

ध्रुव अक्ष से $22\frac{1}{2}^\circ$ पर स्थित चार खाँचों द्वारा उत्पन्न बल :

$F''=8{\cdot}84\times 46600\times \cos 22\frac{1}{2}^\circ\times 30\times 1980\times 4=900$ पौंड

कुल बल$=970+900=1870$ पौंड

विभ्रमिषा (प्रतिफ़ेज़ अधिकतम मान)=कुलबल×अर्धव्यास

$\therefore\quad T=1870\times\frac{1}{2}=935$ पौंड-फ़ीट

(5) संतुलित त्रिफ़ेज़ विभ्रमिषा :

$$T_3 = 3 \times \frac{1}{2} \times 935 = 1400 \text{ पौंड-फ़ीट}$$

(6) इसलिये, संतुलित त्रिफ़ेज़ भार के लिये, यांत्रिक ऊर्जा से विद्युत्-ऊर्जा में परिवर्तित शक्ति :

$$P = \frac{2\pi \times T_3 \times \text{प० प्र० से०}}{550} \text{ अश्व शक्ति}$$

$$= \frac{2\pi \times 1400 \times 60}{550} = 962 \text{ अ० श०}$$

$$= 962 \times 0{\cdot}746 \quad = 718 \text{ कि० वा०}$$

नोट :—इस संगणना को विद्युत शक्ति के समीकार से जाँचा जा सकता है ; जो कि,

$$P = \sqrt{3}EI = \sqrt{3} \times 4150 \times 100 = 720 \text{ कि० वा०}$$

शक्ति की यह समानता तभी ठीक उतरेगी जब हानियाँ नगण्य मान ली जाऐं।

अभ्यास 11-1. चित्र 11-5 में दिखाए गए जैसे, एक वाष्प टर्बाइन जनित्र (Steam Turbine Generator) का दो ध्रुवी क्षेत्र, 3600 प० प्र० मि० पर परिभ्रमण करता है। स्थाता अथवा धात्र का आन्तरिक व्यास 24″ है और लम्बाई 54″ है। खाँचों की संख्या 36 है; तथा कुंडल पूर्ण अन्तराल के हैं। यदि क्षेत्र स्यंद ज्यावर्ती हो तथा वायु विच्छद में इसका अधिकतम मान 45000 रेखा प्रति वर्ग इंच हो तो 13200 वोल्ट की वोल्टता प्राप्त करने के लिये कितने वर्त प्रति कुंडल की आवश्यकता होगी ? मशीन Y–युजित है। यदि इकाई शक्ति खंड पर लाइन धारा 400 अम्प० है, तो विभ्रमिषा एवं जनित विद्युत शक्ति निकालिये। विद्युत शक्ति प्रदा के समीकार द्वारा, इसको जाँचिये।

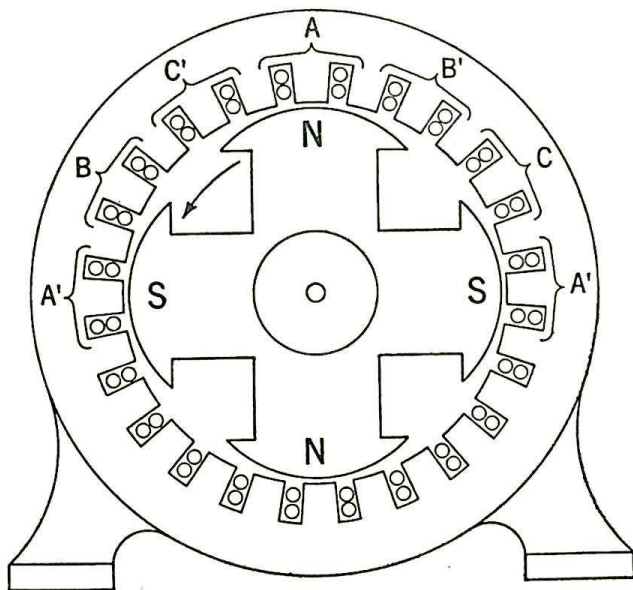
वारंवारता और वेग (Frequency and Speed)

चित्र 11-3 में दिखाई गई मशीन में दो ध्रुव हैं ; और भ्रमिता के एक सेकंड में एक पूर्ण परिक्रमण करने पर, 1 चक्र प्रति सेकंड की प्रत्यावर्ती धारा उत्पन्न होती है। इस कारण 60 चक्र प्रति सेकंड की वारंवारता के लिये, 60 प० प्र० से० अथवा 3600 प० प्र० मि० के वेग की आवश्यकता होगी। (50 चक्र के लिये, 3000 प० प्र० मि०)। चित्र 11-7 में एक चार ध्रुव वाला जनित्र दिखाया गया है। इस मशीन धात्र के सापेक्ष एक चुम्बकीय चक्र पूर्ण करने के लिये, केवल आधे ही परिक्रमण की आवश्यकता है। इसलिये 60 चक्र प्रति सेकंड के लिये केवल 1800 प० प्र० मि की ही आवश्यकता होगी। (50 चक्र के लिये 1500 प० प्र० मि० की)

वेग, वारंवारता तथा ध्रुव संख्या का सम्बन्ध इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$f=\frac{p}{2}\times\frac{\text{प० प्र० मि०}}{60}$$

अथवा, प० प्र० मि० में वेग$=\frac{120f}{p}$

जहाँ f, चक्र प्रति सेकंड में वारंवारता है और p ध्रुव संख्या है। उच्च गति के आद्य चालकों (Prime Movers) के लिये (जैसे वाष्प टर्बाइन), दो अथवा चार ध्रुवों के जनित्र सर्वसामान्य है। जल टर्बाइन (Water Turbines) जैसे मन्द गति के आद्य चालकों के लिये 50 चक्रीय वारंवारता पर अधिक ध्रुवों की आवश्यकता होती है। उदाहरणतया, 150 प० प्र० मि० की जल टर्बाइन के लिये, 50 चक्रीय वारंवारता पर, 40 ध्रुवीय जनित्र की आवश्यकता होगी।

चित्र 11-7 : **सरल चारध्रुवी आवर्तित्र**

अभ्यास 11-2 : निम्नलिखित आद्य चालकों के जनित्रों में, ५० चक्रीय वारंवारता के लिये, आवश्यक ध्रुव संख्या निकालिये ?

(*a*) वाष्प टर्बाइन, 1500 प० प्र० मि०

(*b*) डीज़ल एंजिन ; 375 प० प्र० मि०

(*c*) जल चक्र (Water Wheel) 250 प० प्र० मि०

धात्र के चुम्बक गामक बल (Armature Magnetomotive Forces)

पहले की गई विवेचनाओं में यह माना गया है, कि धारा अपने अधिकतम मान पर तब पहुँचती है जब कि ध्रुव अक्ष कुंडल के मध्य में हो। यह धारणा

ठीक नहीं है क्योंकि वायु विच्छद में स्यंद का मान, अ० धा० क्षेत्र वर्तन के तथा धात्र के चुम्बक गामक बलों के परिणामी चु० गा० ब० द्वारा निश्चित होता है। प्र० धा० मोटरों तथा जनित्रों के प्रवर्तन को समझने के लिये, यह जानना आवश्यक है, कि समक्रमिक जनित्रों (Synchronous Generators) में धात्र प्रतिक्रिया के क्या लक्षण होते हैं तथा इसे अ० धा० क्षेत्र के साथ किस विधि से संयोजित किया जाता है।

यदि चित्र 11-3 के फ़ेज़ A में, ध्रुव अक्ष के ऊर्ध्वाधर होने पर, अधिकतम धारा प्रवाहित हो ; जैसा कि रेखाचित्र में दिखाया गया है, तब फ़ेज़ A का चुम्बक गामक बल क्षैतिज होगा और धात्र के दाहिने पार्श्व में दक्षिणी ध्रुव उत्पन्न करेगा। जैसे-जैसे भ्रमिता प्रतिघटि दिशा में घूमता जाता है, वैसे-वैसे, उत्तरोत्तर फ़ेज़ों में धारा अधिकतम होती जाती है। फ़ेज़ A द्वारा उत्पन्न, धात्र के दाहिने भाग में दक्षिणी ध्रुव के समान ही धात्र के शीर्ष भाग में भी ऐसा ही ध्रुव उत्पन्न होगा जो पहले फ़ेज़ C' द्वारा तथा फिर फ़ेज़ B द्वारा उत्पन्न किया जायगा। इस प्रकार धात्र धाराओं द्वारा उत्पन्न किया गया यह दक्षिणी ध्रुव, धात्र परिणाह के चारों ओर भ्रमिता के उत्तरी ध्रुव से सदैव अनुगामी रहता हुआ, उसी गति से घूमता है, जिस गति से भ्रमिता घूमता है। (चूंकि धात्र का दक्षिणी ध्रुव, भ्रमिता के उत्तरी ध्रुव को आकर्षित, तथा उसके दक्षिणी ध्रुव को प्रतिकर्षित करता है ; इसलिये भ्रमिता को इस विमन्दन बल के विरुद्ध चलाना आवश्यक है। यह, जनित्र विभ्रमिषा की 'संवाहक पर बल' वाली व्याख्या की विकल्प अवधारणा को भी प्रस्तुत करता है)।

वायु-विच्छद स्यंद, मुख्य क्षेत्र वर्तन के तथा धात्र प्रतिक्रिया के चुम्बक गामक बलों के परिणामी चु० गा० ब० के कारण होती है। इस अवस्था में, धात्र प्रतिक्रिया से उत्पन्न स्यंद, फेज पट्टी के अक्ष पर, ध्रुव अक्ष के बाद में पहुँचेगी। जब ध्रुव अक्ष, फेज़ पट्टी के मध्य में हो, उस समय धारा को अधिकतम मान पर पहुँचने के लिये यह आवश्यक है, कि धारा वोल्टता से काल प्रावस्था में अग्रित हो।

प्र० धा० जनित्रों में, धारा का वोल्टता से कालप्रावस्था में अनुगामी होना सामान्य होता है ; इसलिये, किसी फ़ेज़ में धारा तब तक अधिकतम नहीं हो पाती, जब तक कि ध्रुव अक्ष फेज़ पट्टी के मध्य से कुछ दूर आगे नहीं निकल जाता। इसके परिणाम स्वरूप, धात्र पर उत्पन्न दक्षिणी ध्रुव, भ्रमिता के उत्तरी ध्रुव की अपेक्षा, दक्षिणी ध्रुव के अधिक समीप पहुँच जाता है, और इस प्रकार परिणामी चु० गा० ब० के परिमाण में प्रभावी रूप से कमी कर देता है। इस कारण, वायु विच्छद स्यंद तथा अवसान वोल्टता भी कम हो जाएँगी।

यद्यपि धात्र चु० गा० ब०, भ्रमिता चु० गा० ब० का केवल आंशिक रूप से ही विरोध करता है, तथापि वोल्टता को बनाये रखने के लिये, यह आवश्यक है, कि, भ्रमिता चु० गा० ब० को बढ़ाया जाय ; जिससे परिणामी स्यंद पहले

जितना ही बना रहे। अतः उतनी ही वोल्टता के लिये, भार प्रदाय करते हुए प्र० धा० जनित्र की क्षेत्र धारा, इकाई शक्ति खंड भार की अपेक्षा, अनुगामी शक्ति खंड भार की अवस्था में अधिक होगी।

ठीक ऐसे ही विश्लेषण से यह सिद्ध किया जा सकता है, कि यदि भार का शक्ति खंड अत्याधिक अग्रित हो, तो किसी भी फ़ेज़ में धारा, ध्रुव अक्ष के फ़ेज़ पट्टी के मध्य में पहुँचने से पहले ही अधिकतम हो जायगी। अतः धात्र का दक्षिणी ध्रुव आगे बढ़कर भ्रमिता के उत्तरी ध्रुव के अधिक समीप पहुँच जायगा। इसके कारण, परिणामी चु० गा० व० में वृद्धि हो जायगी, और इसलिये वायु विच्छद स्यंद तथा अवसान वोल्टता में भी तत्सम्बन्धी वृद्धि हो जायगी। जब जनित्र पर अग्रित शक्ति खंड का भार होता है, तब अवसान वोल्टता को स्थिर बनाये रखने के लिये, भ्रमिता की क्षेत्र धारा को घटाना आवश्यक होता है।

संक्षेप में, **एक बहुफ़ेज़ी आवर्तित्र के धात्र कुंडलों में, (जो स्थिति में स्थिर हैं) धाराओं का समय के साथ विचरण, धात्र पर चुम्बकीय ध्रुव उत्पन्न कर देता है, और ये ध्रुव धात्र के तल पर चारों ओर समक्रमिक गति से घूमते हैं।*** यदि धारायें, वोल्टता से काल प्रावस्था में अनुगामी हैं तब ये ध्रुव न केवल भ्रमिता की गति को मन्द करने की चेष्टा करते हैं वरन् वायु विच्छद स्यंद के परिमाण को भी कम कर देते हैं। यदि धारा, वोल्टता से काल प्रावस्था में अग्रित हो, तब भी ये ध्रुव, भ्रमिता की गति को मन्द करने की चेष्टा करते हैं; किन्तु वायुविच्छद स्यंद में वृद्धि उत्पन्न करते हैं।

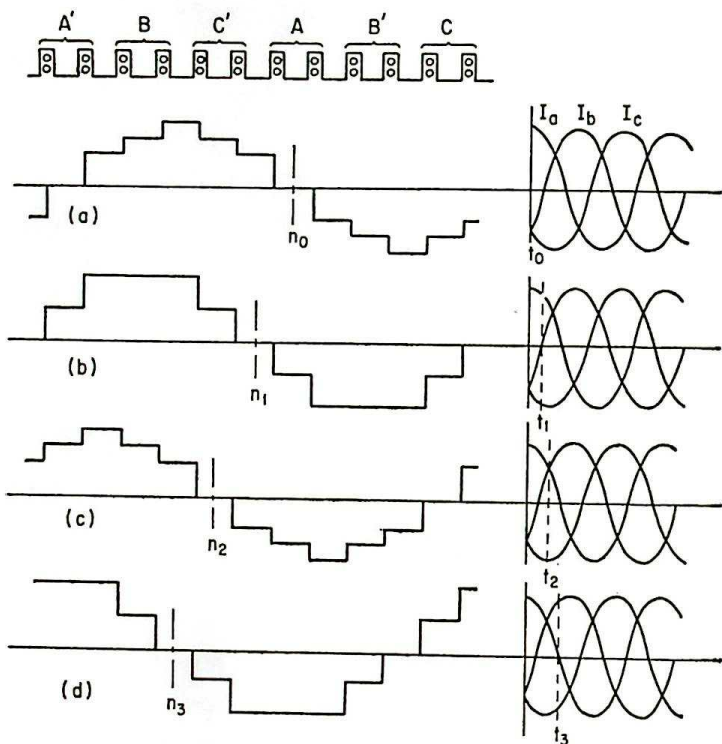
परिभ्रामी चुम्बकीय क्षेत्र (Rotating Magnetic Field)

पिछले परिच्छेद में वर्णित धाराओं तथा चुम्बक गामक बलों का विस्तृत विश्लेषण, बहुधा यह समझने में सहायक होता है, कि विभिन्न फ़ेज़ों में काल विचरणशील (Time Varying) धारायें किस प्रकार परिभ्रामी चुम्बक गामक बल उत्पन्न करती हैं। विश्लेषण को सरल बनाने के लिये तथा विद्यार्थी को चार ध्रुवी मशीनों से परिचित कराने के लिये (जो अधिक सामान्य हैं)†, चित्र 11-7 में दिखाया हुआ आवर्तित्र, अध्ययन का आधार माना जायगा।

चित्र 11-8 के शीर्ष में, आवर्तित्र के स्थाता का ऊपरी भाग चपटा कर के दिखाया गया है। इस चित्र के दाहिने पार्श्व में, त्रिफ़ेज़ धाराओं के काल विचरण दिखाये गये हैं। ऊर्ध्वाधर रेखायें t_0, t_1, t_2, t_3, उत्तरोत्तर चुम्बक

* धात्र वर्तन में प्रवाहित होने वाली किन्हीं भी संतुलित बहुफ़ेज़ी धाराओं से यही प्रभाव उत्पन्न होगा और यह प्रोचन मोटर के परिभ्रामी क्षेत्र (Rotating Field) का आधारभूत सिद्धान्त है, जिसका अध्ययन बाद में किया जायगा।

† प्रोचन मोटरों में चार ध्रुव विशेषतया सामान्य होते हैं।

गामक बलों के लिये (जो चित्र के बाँये भाग में दिखाये गये हैं) उत्तरोत्तर काल क्षण दिखाती हैं।

चित्र 11-8 : आवर्तित्र के वर्तन में प्रवाहित होने वाली संतुलित बहु-फ़ेज़ी धारायें एक चुम्बक गामक बल उत्पन्न करती हैं, जो धात्र के चारों ओर परिभ्रमण करता है परन्तु परिमाण में वस्तुतः स्थिर होता है

फेज़ पट्टियों को, चित्र 11-7 के अनुसार A अथवा A' से चिन्हित किया गया है। इससे यह देशित होता है, कि धारा एक फ़ेज़ संवाहकों के समूह में एक दिशा में बहती है ; जब कि उसी फ़ेज़ के अगले संवाहक समूह में विपरीत दिशा में बहती है। इस चित्र के दाँये भाग में, काल विचरण रेखाचित्र के अन्दर, धनात्मक धारा यह देशित करती है कि फ़ेज़ A,B और C में धारा काग़ज़ के अन्दर की ओर को वह रही है परन्तु A',B' और C' में काग़ज़ के वाहर की ओर को।

रेखाचित्र (a) में, समय t_0 पर A में धारा अपने अधिकतम धनात्मक मान पर है; जब कि B और C में धारायें आधे परिमाण की, और ऋणात्मक हैं। चुम्बक गामक बल का विश्लेषण करने के हेतु, A फ़ेज़ के दो खाँचों के बीच, उदासीन स्थिति (Neutral Position) *no* मान ली जायगी*। तब चुम्बक

* रचना को पूरी करने पर, उदासीन स्थिति वहीं प्राप्त होगी जहाँ मानी गई है ; परन्तु संक्षेप के लिये यह सब छोड़ दिया गया है।

गामक बल को वायु विच्छद के चारों ओर वरिमा स्थिति (Space Position) के विरुद्ध अंकित किया जायगा।

बाँई ओर को बढ़ने पर सबसे पहले A फ़ेज़ के दो कुंडल पार्श्व वाला खाँचा मिलेगा। चूंकि इन दोनों कुंडल पार्श्वों में, कागज़ के अन्दर की ओर को प्रवाहित होने वाली धारा अधिकतम है; इसलिये चु० गा० ब० रेखाचित्र में फ़ेज़ A और C' के अन्तराल में दो इकाइयों की वृद्धि दिखाई गई है। फिर C' का एक खाँचा मिलता है और C फ़ेज़ में धारा के ऋणात्मक होने के कारण C' में धारा ऋणात्मक होगी। अतः चु० गा० ब० रेखाचित्र में और भी वृद्धि हो जायेगी। इस बार प्रत्येक कुंडल पार्श्व में धारा आधे परिमाण की है। अतः दोनों कुंडल पार्श्वों द्वारा चु० गा० ब० में एक इकाई वृद्धि ही होगी।

जब C' का दूसरा खाँचा मिलता है, तब एक इकाई वृद्धि और हो जाती है। B के पहले खाँचे के मिलने पर यह अवलोकित होगा, कि चु० गा० ब० में एक इकाई की कमी हो जाती है क्योंकि B में धारा आधे परिमाण की है। दूसरा खाँचा चु० गा० ब० में एक और इकाई की कमी कर देता है। A' के पहले खाँचे तक पहुँचने पर चु० गा० ब० में दो इकाई की कमी हो जाती है (A' की धारा ऋणात्मक है) और चु० गा० ब० शून्य पर वापस आ जाता है। उदासीन बिन्दु से दाँईं ओर चलने पर, ऋणात्मक दिशा में वैसा ही वक्र प्राप्त होगा। यह अवलोकित होगा, कि यह क्रम, वक्र (Step Curve) ज्या तरंग की आकृति से बहुत कुछ मिलता जुलता है और प्राथमिक विश्लेषण में ऐसा ही माना जा सकता है।

रेखाचित्र (b) में समय, 30 काल डिग्री अथवा 1/720 सेकंड बाद है और दायें भाग में t_1, द्वारा दिखाया गया है। यहाँ यह अवलोकित होगा, कि A 0·86 धनात्मक, B शून्य, तथा C 0·86 ऋणात्मक है। इसमें न्यूट्रल (Neutral) 'n_1', n_0 के 30° बाईं ओर माना गया है; और चु० गा० ब० का विश्लेषण फिर से किया जाता है। C' का पहला खाँचा चु० गा० ब० को 1·73 इकाई बढ़ा देता है और दूसरा खाँचा उसे 1·73 इकाई और बढ़ा देता है। B में धारा शून्य होने के कारण उसका कोई प्रभाव नहीं होता। तथापि A', चु० गा० ब० को, प्रत्येक खाँचे में 1·73 इकाइयाँ कम कर देता है। इस प्रकार चु० गा० ब० फिर शून्य पर वापस आ जाता है। वक्र का ऋणात्मक भाग, फिर से N_1 के दाँईं ओर है। वक्र (b) वक्र (a) से भिन्न आकृति का है। परन्तु यह अवलोकित होगा, कि यह भी लगभग वैसा ही ज्या वक्र है। इस ज्या वक्र का अधिकतम मान (a), के अधिकतम मान से कम होगा और (b) के अधिकतम मान से अधिक होगा: इस प्रकार, यह 4 से कुछ कम होगा और 3·46 से अधिक होगा।*

---

* अधिकांश वाणिज्यिक मशीनों में कुंडल पूर्ण अन्तराल से कुछ कम होते हैं, जिससे यह तरंग, ज्या तरंग के और भी अधिक समरूप हो जाती हैं।

रेखाचित्र (c) में उदासीन बिन्दु n_2, n_1 से 30° बाँई ओर माना गया है; और समय t_2, t_1 से 30° अथवा 1/720 सेकंड बाद में है। इस समय C में धारा अधिकतम ऋणात्मक मान पर है, जब कि A और B दोनों में अधिकतम धनात्मक मान के आधे पर। खाँचों के चु० गा० ब० के विश्लेषण पर जो वक्र प्राप्त होता है वह (a) के समरूप है परन्तु उससे 60 विद्युत वरिमा डिग्री अथवा निकटवर्ती ध्रुवों के अक्षों के बीच की दूरी का एक तिहाई भाग हटा हुआ है।

रेखाचित्र (d) में समय t_3, t_2 से 30° बाद और t_0 से 90° बाद है। इस क्षण, A में धारा शून्य है, जबकि B में 0·86 धनात्मक, और C में 0·86 ऋणात्मक है। न्यूट्रल n_3 पर माना गया है जो n_2 से 30 विद्युत वरिमा डिग्री बाँई ओर है। इस स्थिति में वक्र की आकृति (b) के वक्र के समान है।

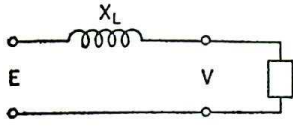
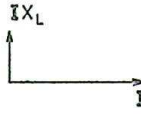
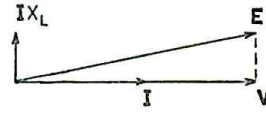
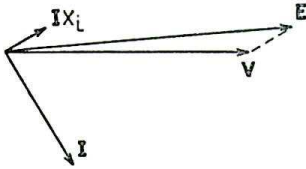
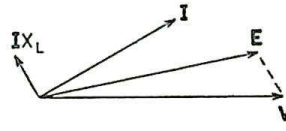
तरंग आकृति में परिवर्तन का विश्लेषण इस पुस्तक का विषय नहीं है। यहाँ पर दिये गये विश्लेषण का तात्पर्य, यह प्रदर्शित करना है, कि एक मशीन में, अपने स्थान पर स्थिर कुंडलों में, परिमाण में बदलती हुई धारा किस प्रकार एक ऐसा चु० गा० ब० उत्पन्न करती है, जो कि परिमाण में नियत (Constant) परन्तु वरिमा में उसी वेग से परिभ्रमण करता है, जिस गति से कि आवर्तित्र के क्षेत्र ध्रुव। ये परिणाम, संक्षिप्त रूप से, निम्नलिखित कथन में ठीक-ठीक व्यक्त किये जा सकते हैं :—

आवर्तित्र (अथवा प्ररोचन मोटर) के धात्र में, संतुलित त्रिफ़ेज़ धाराओं के बहने से एक चुम्बक गामक बल उत्पन्न होता है जो परिमाण में स्थिर होता है और धात्र परिणाह के चारों ओर समक्रमिक गति से परिभ्रमण करता है।

उपर्युक्त कथन एक सर्वसामान्य कथन है; और इसमें यह जोड़ा जाना चाहिये, कि जब तक शक्ति खंड नियत रहता है, तब तक आवर्तित्र के क्षेत्र ध्रुवों के सापेक्ष, धात्र प्रतिक्रिया के कारण उत्पन्न चुम्बक-गामक बल स्थिति में स्थिर रहता है। जैसा पहले पर्यालोचित किया गया है, इकाई शक्ति खंड पर धात्र प्रतिक्रिया के कारण परिणामी स्यंद अपने अधिकतम मान पर तब पहुँचती है जब ध्रुव अक्ष, धात्र पर किसी निर्दिष्ट बिन्दु को पार कर लेते हैं। भार धारा के शक्ति खंड के अनुगामी होने पर, धात्र प्रतिक्रिया के चु० गा० ब० का एक संघटक (Component), मुख्य क्षेत्र स्यंद का विरोध करता है। परिणामी स्यंद, ध्रुव अक्ष से, जिस कोण द्वारा अनुगामी होती है, उससे अधिक कोण से धारा के वोल्टता से अग्रित होने पर; धात्र चुम्बक गामक बल का एक संघटक, मुख्य क्षेत्र स्यंद की सहायता करता है।

समक्रमिक प्रतिकारिता (Synchronous Reactance)

समक्रमिक मोटरों एवं जनित्रों के निष्पादन को ठीक-ठीक समझने के लिये, समक्रमिक प्रतिकारिता की धारणा को विकसित करना आवश्यक है। इसके

पहले, एक प्र० धा० वोल्टता प्रभव एवं भार के बीच एक प्रतिकारिता कुंडल के निवेशन के प्रभाव का पुनरीक्षण (Review) करना अपेक्षित होगा। तब इस कुंडल के प्रभाव की तुलना, आर्वातित्र में धात्र प्रतिक्रिया के प्रभाव से की जा सकती है।

(a) Circuit diagram (b) Coil phasor diagram (c) Circuit phasor diagram at unity power factor

(d) Circuit phasor diagram at lagging power factor (e) Circuit phasor diagram at leading power factor

चित्र 11-9 : (*a*) परिपथ रेखाचित्र, (*b*) कुंडल का फ़ेज़र रेखाचित्र, (*c*) इकाई शक्ति खंड पर, परिपथ का फ़ेज़र रेखाचित्र, (*d*) अनुगामी शक्ति खंड पर, परिपथ का फ़ेज़र रेखाचित्र, (*e*) अग्रित शक्ति खंड पर परिपथ का फ़ेज़र रेखाचित्र।

प्रभव तथा भार के बीच में एक प्ररोचित्र के होने पर, स्थिर भार वोल्टता संधारण करने के लिये, प्रभव वोल्टता में विचरण

किसी प्रतिकारिता कुंडल में, एक धारा I के प्रवाहित होने पर, उसमें वोल्टता पात IX_L अवश्यमेव होगा। यह वोल्टता पात धारा से 90° अग्रित होगा, जैसा चित्र 11-9 (*b*) में दिखाया गया है। यदि भार धारा, भार वोल्टता V से प्रावस्था में हो तो प्रभव वोल्टता, प्रावस्था में अवश्य आगे बढ़ जायेगी, जैसा चित्र 11-9 (c) में दिखाया गया है।

धात्र प्रतिक्रिया के अध्ययन में यह देखा गया था, कि धारा के, भार वोल्टता से प्रावस्था में होने के कारण, अवसान वोल्टता क्षेत्र स्यंद द्वारा उत्पादित वोल्टता से अनुगामी हो जाती है ; परन्तु परिमाण में केवल थोड़ा सा ही अन्तर होता है। यदि क्षेत्र स्यंद द्वारा उत्पन्न वोल्टता को (शून्य भार वोल्टता), जनित अथवा प्रभव वोल्टता समझा जाय, तब धात्र प्रतिक्रिया, प्ररोचिता-कुंडल के समान ही प्रभाव उत्पन्न करती है। अर्थात् धात्र प्रतिक्रिया के कारण, अवसान वोल्टता, जनित अथवा प्रभव वोल्टता से काल प्रावस्था में अनुगामी हो जाती है।

चित्र 11-9 (d) का फिर से उल्लेख करते हुए, धारा के भार वोल्टता V से अनुगामी होने पर, IX_e पात का प्रावधान करने के हेतु, प्रभव वोल्टता को बढ़ाना आवश्यक होगा। धात्र प्रतिक्रिया के अध्ययन से यह पता लगा था, कि धारा के अवसान वोल्टता से अनुगामी रहने पर, यह क्षेत्र चु० गा० ब० का विरोध करती थी। साथ ही, उतनी ही अवसान वोल्टता संधारण करने के लिये, क्षेत्र धारा को बढ़ाना आवश्यक होता है। यह भी, प्ररोचिता कुंडल की क्रिया के समान ही है।

भार धारा के, वोल्टता V से अग्रित होने पर, कुंडल प्रतिकारिता को अभिभूत करने के हेतु, अपेक्षित वोल्टता (IX_e) दिष्ट, इस प्रकार घूम जाता है, कि V वोल्टता को स्थिर बनाये रखने के लिये, कम प्रभव वोल्टता E ही काफ़ी होती है। यह क्रिया आवर्तित्र की धात्र प्रतिक्रिया के समान है जो क्षेत्र के चुम्बक गामक बल की सहायता करती है और इस प्रकार अवसान वोल्टता को स्थिर रखने के लिये कम क्षेत्र धारा की आवश्यकता होती है।

चूँकि धात्र प्रतिक्रिया का प्रभाव प्रतिकारिता के समान ही होता है इसलिये सामान्यतः, इसे आवर्तित्र के विश्लेषण में एक सम प्रतिकारिता के एक भाग के रूप में समझा जाता है, जिसको समक्रमिक प्रतिकारिता (Synchronous Reactance) कहते हैं। धात्र प्रतिक्रिया के अतिरिक्त, विभिन्न फ़ेज़ों के वर्तनों में काफ़ी मात्रा में वास्तविक प्ररोचि (Inductive) अथवा च्यावी प्रतिकारिता (Leakage Reactance) भी होती है, जो समक्रमिक प्रतिकारिता का शेष भाग होती है।

यह च्यावी प्रतिकारिता, धात्र के खाँचों के आरपार तथा धात्र वर्तन के सिरों के योजकों के चारों ओर स्यंद के कारण होती है। वस्तुतः, इसमें धात्र वर्तन की धारा द्वारा उत्पन्न, वह सभी स्यंद आ जाती है, जो वायु विच्छद को पार नहीं कर पाती। इस स्यंद की संगणना इस पुस्तक में नहीं की जा सकती। परन्तु इसके कारण उत्पन्न हुई प्रतिकारिता, वर्तन के रोध की अपेक्षा काफ़ी अधिक होती है।

क्षमित धारा के बहने पर, समक्रमिक प्रतिकारिता पात, सामान्यतः, क्षमित वोल्टता का 0·6 से 0·8 तक होता है। इसलिये क्षेत्र धारा को स्थिर बनाये रखने पर, भार विचरण के साथ साथ वोल्टता में काफ़ी परिवर्तन हो जायगा। वोल्टता का यह परिवर्तन, आवर्तित्र के फ़ेजर रेखाचित्र से ज्ञात किया जा सकता है, जैसे चित्र 11-10 में दिखाया गया है।

चित्र 11-10 : अनुगामी भार पर आवर्तित्र का फ़ेजर रेखाचित्र

धात्र रोध के बहुत कम होने के कारण, **समक्रमिक प्रतिकारिता** और **समक्रमिक अवबाधिता** के बीच का अन्तर बहुत ही कम होता है। इसलिये कभी-

कभी समक्रमिक प्रतिकारिता को समक्रमिक अवबधिता के बराबर मान लिया जाता है।

आवर्तित्र का वोल्टता नियंत्रण
(Alternator Voltage Control)

यद्यपि आवर्तित्र का वोल्टता यामन (Voltage Regulation), मशीन के लक्षणों की तुलना करने में महत्वपूर्ण होता है, किन्तु प्रवर्तन में बहुत ही कम काम में आता है। सामान्यत:, भार परिवर्तन के साथ-साथ जनित्र की अवसान वोल्टता को स्थिर रखने के लिये, क्षेत्र धारा में परिवर्तन किया जाता है। इस परिवर्तन को हाथ से भी किया जा सकता है, परन्तु इसमें प्रवर्तक (Operator) की निरंतर सावधानी की आवश्यकता होती है। सामान्यत:, इसे एक स्वयं-क्रिय वोल्टता यामक (Automatic Voltage Regulator) द्वारा किया जाता है।

स्वयंक्रिय वोल्टता यामक कई प्रकार के होते हैं। इनकी बनावट इस बात पर निर्भर करती है, कि क्षेत्र धारा को कितनी शीघ्रता से प्रतिचारण करना है। इनकी रचना, सज्जा के अधिष्ठापन के समय, इनकी निर्माण कला के विकास के अनुसार भी हुई है। सैद्धान्तिक दृष्टिकोण से, सबसे सरल विन्यास, आवर्तित्र के क्षेत्र परिपथ में, एक मोटर चालित क्षेत्र विवरोधक लगाने से होता है। मोटर, एक संस्पर्श कारक वोल्ट मीटर द्वारा नियंत्रित होती है; जिसके कारण वोल्टता के पूर्वनिश्चित परास से घटने अथवा बढ़ने पर इसका व्यव-स्थापन हो जाता है।

बड़े आवर्तित्रों के साथ, उसी ईषा पर छोटे अ० धा० जनित्रों का बनाया जाना, काफी सामान्य है। ये अ० धा० जनित्र, आवर्तित्र क्षेत्र के प्रदीपन को प्रदाय करते हैं। इसलिये इनको **प्रदीपक** (Exciter) कहते हैं। प्रदीपक की क्षेत्र धारा को द्रुतकारी (Quick Acting) विवरोधकों द्वारा नियंत्रित करने से, आवर्तित्र की क्षेत्र धारा का नियंत्रण किया जा सकता है। प्रदीपक क्षेत्र धारा, आवर्तित्र क्षेत्र धारा से बहुत ही कम होती है; इसलिये यह नियंत्रण, अधिकतर, इसी प्रकार किया जाता है।

अधिक बड़े आवर्तित्रों में, प्रदीपक की क्षेत्र धारा भी उसी ईषा पर आरोहित एक और छोटे अ० धा० प्रदीपक द्वारा की जाती है। इस छोटे प्रदीपक को **पाइलट-प्रदीपक** (Pilot Exciter) कहते हैं। पाइलट-प्रदीपक की क्षेत्र धारा में अति सूक्ष्म परिवर्तन से भी आवर्तित्र की क्षेत्र धारा में बहुत बड़ा परिवर्तन हो जाता है। इस प्रकार का विन्यास, वस्तुत:, विद्युत् चुम्बकीय प्रवर्धक (Electromagnetic Amplifier) का केवल एक रूप मात्र ही है।

दक्षता तथा हानियाँ (Efficiency and Losses)

छोटे आकार के आवर्तित्रों की दक्षता, उसी आकार की अन्य विद्युत मशीनों की दक्षता के समान ही होती है। हानियों को स्थिर अथवा विचरणशील होने के अनुसार दो भागों में बाँटा जा सकता है। घर्षण तथा वातज हानियाँ [कूर्च घर्षण और संवातन (Ventilation) को मिलाकर] और लौह हानियाँ, स्थिर हानियों में से हैं। क्षेत्र हानियाँ, भार की मात्रा तथा शक्ति खंड पर निर्भर करती हैं। इनमें क्षेत्र विचरोधक तथा स्वयं क्षेत्र में होनेवाली हानियाँ भी सम्मिलित हैं। क्षेत्र के प्रदीपक द्वारा प्रदाय होने पर, प्रदीपक की हानियाँ भी इसमें मिली होती हैं। धात्र हानियों (Armature Losses) में, वर्तन की वास्तविक I^2R हानि; तथा ताम्र संवाहकों में भँवर धाराओं अथवा विषमवर्ती (Non-Uniform) धारा विभाजन के परिणामस्वरूप होने वाली हानि, और धात्र धारा के कारण अतिरिक्त आंतरक हानि (Core Loss) भी सम्मिलित हैं। बाद की दो प्रकार की हानियों को, बहुधा, **विक्षिप्त भार हानियाँ** (Stray Load Losses) कहते हैं। ये सब I^2R हानियों में मिलाई जा सकती हैं, यदि R का मान बढ़ाकर प्रभावी अथवा कार्यकारी मान से परिभाषित किया जाय।

100 किलोवाट की मशीन की दक्षता लगभग 90 प्रतिशत होती है; और 25000 किलोवाट क्षमता की टर्बाइन-चालित आवर्तित्र की दक्षता 97 प्रतिशत तक होती है। तीव्र वेग के बड़े आवर्तित्रों की वातज हानियाँ, कुल हानियों का इतना बड़ा भाग हो जाती हैं; कि उन आवर्तित्रों को पूर्णतया बन्द कर के हाइड्रोजन से ठंडा करना लाभप्रद होता है। हाइड्रोजन शीतन की अवस्था में दक्षतायें 98·5 प्रतिशत तक पहुँच चुकी हैं।

बारहवाँ अध्याय

प्रत्यावर्ती धारा मोटरें

(ALTERNATING MOTORS)

बहुफ़ेज़ी प्ररोचन मोटर का परिभ्रामी क्षेत्र

(Rotating Field of a Polyphase Induction Motor)

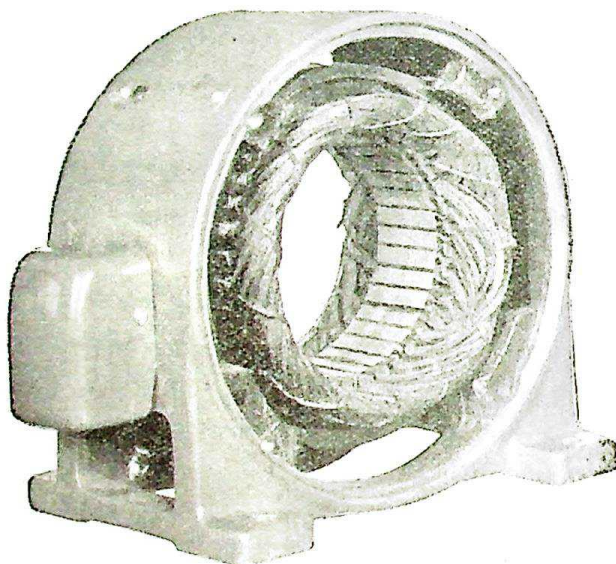
विद्युत् शक्ति का अधिकांश उपयोग, प्रकाश, औद्योगिक अथवा घरेलू तापन अथवा याँत्रिकी ऊर्जा के विकास में होता है। औद्योगिक दृष्टिकोण से इसकी अधिकतम उपयोगिता, उद्योग के चक्रों (Wheels) को चलाने के लिये, याँत्रिकी ऊर्जा के प्रदाय करने में है। यद्यपि छठे अध्याय में वर्णित अ० धा० मोटरें, वहुत सी विशेष प्रयुक्तियों के लिये काम में लाई जाती हैं; किन्तु सर्वसामान्य औद्योगिक मोटर, पन्जर प्ररूप की प्ररोचन मोटर (Squirrel Cage Induction Motor) है। यह मोटर, देखभाल की कठिनाइयों से, असाधारण रूप से मुक्त होती है, और ऐसी वहुत सी मोटरें, विना अधिक ध्यान दिये ही, वर्षों तक प्रवर्तन करती हैं। तथापि, भारुओं को स्नेहित (Lubricated) रखना होता है, और वर्तनों को, कभी-कभी, एक अवधि के वाद साफ़ कर देना होता है।

प्ररोचन मोटर के भ्रमिता संवाहकों में धारा, स्थाता धाराओं की प्ररोचि क्रिया (Inductive Action) के कारण, उत्पन्न होती है। भ्रमिता के लिये कोई सीधा विद्युत युजन नहीं किया जाता। इसलिये जहाँ तक भ्रमिता धाराओं का सम्बन्ध है, प्ररोचन मोटर का भ्रमिता, बहुत कुछ, परिवर्तित्र के द्वितीयक की भाँति कार्य करता है।

प्रचंड चुम्बकीय क्षेत्र में स्थित, धारा वाहक संवाहकों पर बल वाला, मोटर का मूलभूत सिद्धान्त इन प्ररूप की मोटरों के प्रवर्तन का भी आधार है। तथापि इस धारा को प्राप्त करने की विधि, मोटर के प्रवर्तन लक्षणों में भारी परिवर्तन उत्पन्न कर देती है। औद्योगिक उपयोगों के लिये इन लक्षणों के महत्वपूर्ण होने के कारण, इनका अध्ययन वांछनीय है।

प्ररोचन मोटर के स्थाता का वर्तन, ठीक वैसा ही होता है, जैसा कि ग्यारहवें अध्याय में वर्णित, आवर्तित्र के स्थाता का। कुंडल उसी प्रकार वर्तित किये जाते हैं; तथा आपट्टित लौह संरचना (Laminated Iron Structure) में उसी प्रकार फ़िट किये जाते हैं और उसी प्रकार युजित भी किये जाते हैं। युजन Y अथवा △ हो सकते हैं तथा इनके लाभ भी वहीं हैं, जो आवर्तित्र में होते हैं। तीनों फ़ेजों के वर्तन होते हैं; इसलिये इनको संमितीय (Symmetrical) कहा जाता है। ऐसे वर्तन पर संतुलित त्रिफ़ेज़ वोल्टताओं के आरोपण से, वर्तन

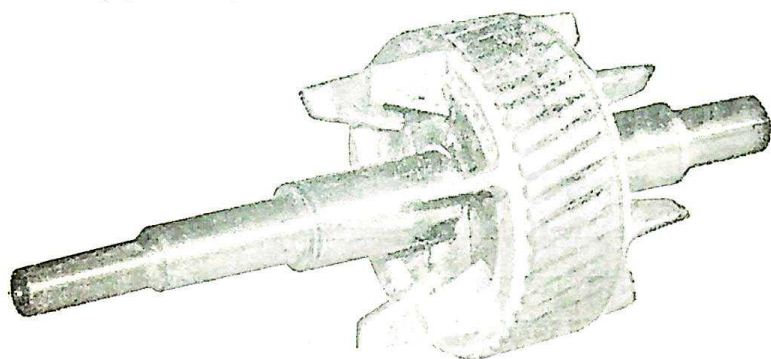
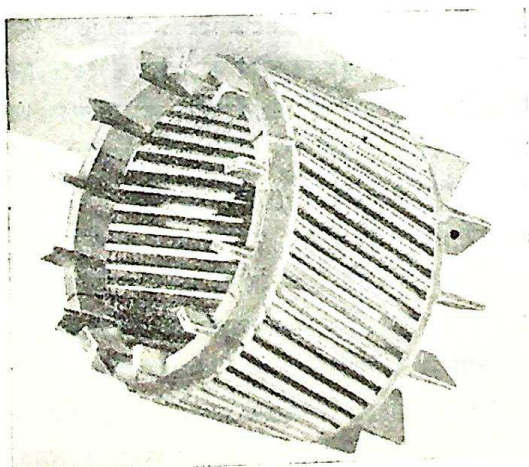
में संतुलित धारायें उत्पन्न होती हैं। ये धारायें परिमाण में बराबर, तथा काल प्रावस्था में 120° विलगित होंगी।.

ग्यारहवें अध्याय में धात्र प्रतिक्रिया के विश्लेषण से ज्ञात हुआ था कि ऐसी संतुलित धारायें, एक चुम्बक गामक बल उत्पन्न करती हैं, जो धात्र परिणाह के चारों ओर समक्रमिक गति (Synchronous Speed) से परिभ्रमण करता है। उदाहरणार्थ, द्वि-ध्रुवी वर्तन के लिये, यह गति 3600 प० प्र० मि०, चार ध्रुवी वर्तन के लिये 1800 प० प्र० मि० तथा 6 ध्रुवी वर्तन के लिये 1200 प० प्र० मि० होगी।*

चित्र 12-1 : **संतुलित त्रिफ़ेज़ी वर्तन का एक प्ररोचन मोटर स्थाता**

प्ररोचन मोटर के भ्रमिता की रचना : प्ररोचन मोटर की भ्रमिता का मुख्य उद्देश्य, स्थाता द्वारा उत्पन्न परिभ्रामी स्यंद के लिये एक अल्प प्रतियास के चुम्बकीय पथ का प्रावधान करना होता है। जैसा चित्र 12-9 में दिखाया गया है, इसका प्रावधान, इस्पात स्तार छिद्रकाओं (Sheet Steel Punchings) के चय (Stack) द्वारा किया जाता है। ये स्तार आपस में रिवेट (Rivet) कर भ्रमिता ईषा पर आरोहित कर दिये जाते हैं। वास्तव में यह चुम्बकीय परिपथ, अ० धा० मोटर के भ्रमिता के चुम्बकीय परिपथ के बहुत कुछ समरूप होता है। ताँबे (अथवा किसी दूसरी धातु) के दण्ड, भ्रमिता के खाँचों में निवेशित कर दिये जाते हैं (बिना किसी विसंवाहन के); तथा इन दण्डों के

* ये वेग, 60 चक्र प्रति सेकंड की वारंवारता के लिये दिये गये हैं। 50 चक्र के लिये इनका मान क्रमशः 3000, 1500, तथा 1000 प० प्र० मि० होगा।

दोनों सिरों को ताँगे के अथवा पीतल के वलयों (Rings) द्वारा पित्तलित (Braze) कर दिया जाता है।*

इन भ्रमिताओं की रचना में, ऐसी संवाहकी संरचना (Conducting Structure) को प्राप्त करने के लिये, एक नई विधि के अनुसार एल्युमीनियम को साँचे की ढलाई के विधायन (Die Casting Process) द्वारा उपयोग किया जाता है। ऐसी भ्रमिता संरचना, चित्र 12-2 में दिखाई गई है। चित्र 12-2(*a*) में सम्पूर्ण भ्रमिता मोटर पर आरोहित दिखाया गया है तथा

चित्र 12-2 (*a*) : **प्ररोचन मोटर का पन्जर भ्रमिता**

चित्र 12-3 (*b*) : **प्ररोचन मोटर का पन्जर वर्तन। यह अंशक पहले आपट्टित इस्पात आन्तरक में ढाला गया था जिसे बाद में हटा दिया गया है**

चित्र 12-2(*b*) में, ढले अंशक को लौह भाग के अम्ल द्वारा प्रविलयन (Dissolve) के पश्चात दिखाया गया है।

* यह संरचना, गिलहरियों के पिंजरों के बहुत कुछ सभरूप होती है, इसलिये इस प्रकार के वर्तनों को गिलहरी पन्जर वर्तन कहते थे; और यह नाम अभी तक चला आता है।

चूँकि भ्रमिता संवाहकों में अति अल्प वोल्टतायें जनित होती हैं, इसलिये विसंवाहन की आवश्यकता नहीं होती। साथ ही, लौह भाग में प्रवाहित धारा भी विभ्रमिषा उत्पन्न करती है; इसलिये भ्रमिता का आपट्टित बनाया जाना वस्तुतः आवश्यक नहीं होता।

वायु विच्छद, यथा सम्भव, अल्पतम रखा जाता है; तथापि निश्चित याँत्रिकी अवकाश (Mechanical Clearance) अवश्य ही रहना चाहिये। खण्ड अश्व शक्ति (Fractional Horse Power) की मोटरों के लिये, वायु विच्छद का परिमाण, 0·01″ से लेकर, 10 से 25 अ० श० की मोटरों में 0·02 इंच तक होता है। यह अवकाश, भारुओं के थोड़ा घिसने तथा विच्छद में थोड़े वायु प्रवाह होने की अनुमति देता है।

प्रवर्तन का गुणात्मक विश्लेषण (Qualitative Analysis of Operation)

जैसा कि पहले प्रदर्शित किया जा चुका है, स्थाता वर्तनों पर आरोपित बहुफ़ेज़ी वोल्टता, वायु विच्छद के चारों ओर परिभ्रमण करने वाली स्यंद उत्पन्न करेंगी। चूँकि इन स्थाता वर्तनों का रोध, सापेक्षतया, कम होता है; इसलिये धारा प्रतिकारिता द्वारा सीमित होती है। सातवें अध्याय में यह दिखाया गया था कि प्रतिकारी वोल्टता (Reactance Voltage), आरोपित वोल्टता के बराबर तथा विरुद्ध होती है (अल्प रोध की दशा में)। इससे यह निष्कर्ष निकलता है, कि प्ररोचन मोटर में परिभ्रामी स्यंद का परिमाण उतना ही होगा, जितना कि स्थाता के एक समक्रमिक जनित्र होने पर होगा।*

समक्रमिक जनित्र में, चुम्बक गामक बल, अ० धा० क्षेत्र द्वारा प्रदत्त होता है। प्ररोचन मोटर में चु० गा० ब०, स्थाता में बहने वाली संतुलित धाराओं द्वारा उत्पन्न होता है। ये धारायें, आरोपित वोल्टता से काल प्रावस्था में 90° अनुगामी होती हैं तथा प्रदीपन धारायें कहलाती हैं। इन प्रदीपन धाराओं का परिमाण स्यंद पथ के प्रतियास पर निर्भर करता है। चूँकि इस प्रतियास का एक बड़ा अंश वायु विच्छद के कारण होता है; इसलिये विच्छद यथासंभव अल्पतम रक्खा जाता है। प्रदीपन धारा का परिमाण जितना ही कम होगा, पूर्ण भार पर प्रवर्तन करते हुए मोटर का शक्ति खंड उतना ही श्रेष्ठ होगा।

प्ररोचन मोटर के प्रवर्तन में समक्रमिक गति तथा वास्तविक गति का अन्तर महत्वपूर्ण होता है। इसको एक विशिष्ट नाम से पुकारा जाता है। इसे **सर्पण** (Slip) कहते हैं; तथा इसकी परिभाषा यह है :

---

* यहां च्यावो प्रतिकारिता को नगण्य मान लिया गया है, क्योंकि वह वायु विच्छद स्यंद का भाग नहीं होती।

$$\text{सर्पण} = \frac{\text{समक्रमिक गति} - \text{वास्तविक गति}}{\text{समक्रमिक गति}}$$

1800 प० प्र० मि० समक्रमिक गति की, चार ध्रुवी मोटर, जिसकी पूर्ण भार गति 1740 प० प्र० मि० है उसका

$$\text{सर्पण} = \frac{1800 - 1740}{1800} = \frac{60}{1800} = 0 \cdot 03 \text{ (अथवा 3 प्रतिशत)}$$

जब भ्रमिता स्थिर होता है, जैसा कि आरम्भण के समय, तब परिभ्रामी क्षेत्र जिस गति से स्थाता संवाहकों को काटता है, उसी गति से भ्रमिता के संवाहकों को भी काटता है। इसलिये निश्चल भ्रमिता की वारंवारता, शक्ति लाइन की वारंवारता के बराबर होती है। जैसे-जैसे भ्रमिता का वेग बढ़ता जाता है, वैसे-वैसे सापेक्ष गति कम होती जाती है। ज्यों-ज्यों समक्रमिक गति पास आती जाती है, त्यों-त्यों भ्रमिता संवाहकों में जनित वोल्टता की वारंवारता भी शून्य की ओर जाती रहती है।

इस प्रकार भ्रमिता वारंवारता, सर्पण की समानुपाती होती है।

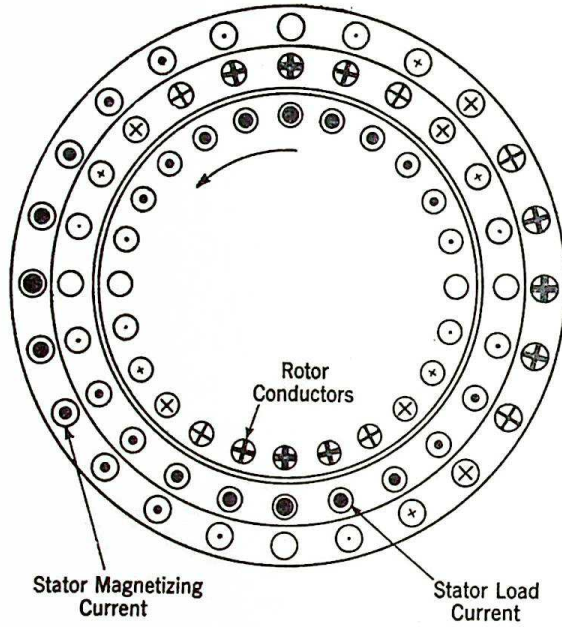
$$f_r = sf.$$

जहाँ f_r भ्रमिता वारंवारता, f लाइन वारंवारता तथा s सर्पण है। जिस गति से भ्रमिता संवाहक, वायु विच्छद स्यंद को काटते हैं, वह तथा परिणामी वोल्टता का परिमाण, दोनों ही सर्पण के समानुपाती होते हैं।

भ्रमिता संवाहक, अंत वलयों (End Rings) द्वारा लघु परिपथित होते हैं, इसलिये धारा भी जनित वोल्टता की दिशा में ही प्रवाहित होगी और अल्प सर्पण मानों पर, वोल्टता से लगभग प्रावस्था में होगी।

अभ्यास 12-1 :—एक 20 *H. P.*, 220 *V*, त्रिफ़ेज़ पन्जर प्रेरोचन मोटर की क्षमित गति 875 प० प्र० मि० है। (*a*) इसमें कितने ध्रुव हैं? (*b*) पूर्ण भार सर्पण कितने प्रतिशत हैं? (*c*) आरोपित वोल्टता के चक्र में, स्यंद कितना आगे बढ़ जायेगी (यांत्रिक डिग्री में)?

भ्रमिता पर, परिभ्रामी वायु विच्छद स्यंद के प्रभाव का विश्लेषण, पहले यह मान कर किया जायगा कि भ्रमिता समक्रमिक गति से घूम रहा है। इस दशा में स्यंद, भ्रमिता के सापेक्ष, स्थावर (Stationary) है और इसलिये; भ्रमिता संवाहकों में कोई वोल्टता नहीं जनित होगी। जब भ्रमिता कुछ धीमा हो जाता है, तब वायु विच्छद स्यंद और भ्रमिता संवाहकों के बीच सापेक्ष गति विकसित हो जाती है। अतः इन संवाहकों में वोल्टता उत्पन्न हो जाती है। पांचवे अध्याय (चित्र 5–3) में यह सिद्ध किया गया था, कि जनित वोल्टता की दिशा में, प्रवाहित धारा के कारण उत्पन्न बल ऐसी दिशा में होता है, जो संवाहकों तथा चुम्बकीय क्षेत्र के बीच की सापेक्ष गति का विरोध करता है। प्रेरोचन मोटर में, जैसे-जैसे भ्रमिता समक्रमिक गति के पास पहुँचती जाती है,

वैसे-वैसे सापेक्ष गति कम होती जाती है। इस प्रकार, भ्रमिता के धीमा पड़ने से अतिरिक्त विभ्रमिषा उत्पन्न होती है। यह विभ्रमिषा, भ्रमिता को, सम-क्रमिक गति पर पुनः लाने का प्रयत्न करती है।

चित्र 12-3 : **प्ररोचन मोटर में धाराओं के संघटक**

भ्रमिता परिणाह के चारों ओर, भ्रमिता धाराओं का विभाजन, इन धाराओं को उत्पन्न करने वाले वायु विच्छद स्यंद के विभाजन का अनुसरण करेगा। चूंकि वायु विच्छद के चारों ओर स्यंद ज्यावर्ती रूप में विचरण करती हैं, इस कारण धारायें भी उसी प्रकार विभाजित होंगी। यह रेखाचित्र द्वारा, चित्र 12-3 में दिखाया गया है। बाहरी वलय में देशित विभाजन के अनुसार, स्थाता चुम्बकन धाराओं द्वारा उत्पन्न स्यंद ऊर्ध्वाधिर दिशा में दिखाया गया है। स्यंद विभाजन ज्यावर्ती है; और जनित वोल्टता स्यंद के समानुपात में होता है। धारायें, जहाँ केवल रोध द्वारा ही सीमित होती थीं, वहाँ वोल्टता के समानुपात में होने के कारण, उनका विभाजन संवाहकों की अन्दर वाली अथवा भ्रमिता वलय में दिखाये गये के अनुसार होगा। दूसरे शब्दों में, भ्रमिता परिणाह के चारों ओर, धारा घनत्व की एक वरिमा तरंग हैं।* जब धारा

---

* भ्रमिता धारायें, स्थाता पर उसी प्रकार प्रतिक्रिया करती हैं, जिस प्रकार परिवर्तित्र का द्वितीयक प्राथमिक पर। अर्थात् भ्रमिता चु० गा० ब० का निष्फलन करने के लिये प्राथमिक अथवा स्थाता में एक धारा का प्रवाह आवश्यक है जिसे चित्र 12-3 के मध्यवर्ती वलय में दिखाया गया है। भ्रमिता चु० गा० ब० के निष्फलन होने पर, वायु विच्छद स्यंद परिमाण में स्थिर बनी रहती है।

वरिमा तरंग का अधिकतम, स्यंद अधिकतम के साथ प्रावस्था में होता है, तब परिणाह के चारों ओर विभ्रमिषा विभाजन, दुगनी वारंवारता का एक ज्या वक्र होगा, और उसका औसत मान, अधिकतम मान का आधा होगा। ऐसी दशा में विभ्रमिषा, स्यंद तथा धारा के गुणन के अनुपात में होगी।

$$T = K\phi I$$

सर्पण के सापेक्षतया अधिक होने पर, भ्रमिता दण्डों में जनित वोल्टता की वारंवारता इतनी काफी होती है कि प्रतिकारिता को नगण्य नहीं माना जा सकता और मोटर क्रिया का विश्लेषण, प्रत्यावर्ती धारा के आधार पर करना आवश्यक है। अतः भ्रमिता धारा जिसमें राशियाँ भ्रमिता धारा, वोल्टता, रोध एवं

$$I_r = \frac{E_r}{\sqrt{R_r^2 + X_r^2}}$$

प्रतिकारिता हैं। **धारा वोल्टता के पीछे अनुगामी होगी, और चूँकि वोल्टता स्यंद के साथ प्रावस्था में है, इसलिये स्यंद और धारा के वरिमा विभाजन के बीच का प्रावस्था कोण** (Phase Angle) **धारा तथा वोल्टता के बीच के काल प्रावस्था कोण के बराबर होगा।** तब, विभ्रमिषा केवल स्यंद तथा धारा के अनुपात में ही नहीं वरन् प्रावस्था अन्तर कोण की कोज्या के अनुपात में भी हो जाती है।

$$T = K\phi I_r \cos\theta$$

धारा तथा विभ्रमिषा का मात्रिक विश्लेषण (Quantitative Analysis of Current and Torque) : यदि निश्चल स्थिति में भ्रमिता वोल्टता को E'_r कहा जाय, तो s सर्पण पर वास्तविक वोल्टता

$$E_r = E'_r s.$$

इसी प्रकार यदि निश्चल स्थिति में भ्रमिता प्रतिकारिता को X'_r कहा जाय, तो s सर्पण पर भ्रमिता प्रतिकारिता ;

$$X_r = X'_r s$$

इस प्रकार भ्रमिता धारा का मान

$$I_r = \frac{E_r}{\sqrt{R_r^2 + X_r^2}} = \frac{E'_r s}{\sqrt{R_r^2 + (X'_r s)^2}}.$$

शक्ति खंड को इस प्रकार निर्धारित किया जा सकता है :—

$$\cos\theta = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + (X'_r s)^2}}.$$

अब विभ्रमिषा निकाली जा सकती है।

$$T = K\phi I_r \cos\theta$$

$$=K\phi \frac{E'_r s}{\sqrt{R_r^2+(X'_r s)^2}} \times \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2+(X'_r s)^2}}$$

$$=K\phi E'_r R_r \frac{s}{R_r^2+(X'_r s)^2}.$$

उस सर्पण को ज्ञात करने के लिये, जिस पर विभ्रमिषा अधिकतम होती है, विभ्रमिषा पदसंहति (Expression) को अवकलित (Differentiate) कर शून्य के बराबर रखना होगा।

$$\frac{dT}{ds}=K\phi E'_r R_r \frac{(R_r)^2+(X'_r s)^2-2X'^2_r s^2}{R_r^2+(X'_r s)^2}=O$$

इसलिये $R_r^2-s^2=O.$

$\therefore \quad R_r=X'_r s.$

दूसरे शब्दों में अधिकतम विभ्रमिषा तब प्राप्त होगी, जब भ्रमिता का रोध और प्रतिकारिता बराबर हो। अधिकांश वाणिज्यिक मशीनों में यह दशा लगभग 0·15 अथवा 15 प्रतिशत सर्पण पर पाई जाती है।

अब यदि विभ्रमिषा के समीकार में $X'_r s$ को इसके बराबर R_r द्वारा स्थानापन्न कर दिया जाय, तो यह पाया जायगा कि अधिकतम विभ्रमिषा, भ्रमितारोध से स्वाधीन है।

प्रवर्तन लक्षण (Operating Characteristics)

प्ररोचन मोटर के प्रवर्तन लक्षण, सामान्यत:, विभ्रमिषा के विरुद्ध धारा एवं वेग ; तथा वेग के विरुद्ध नियत स्थिर वोल्टता के वक्रों द्वारा दिखाये जाते हैं। विश्लेषण में, अधिकतम विभ्रमिषा की दशा का एक विशेष महत्व होता है ; और चूंकि सामान्यत:, यह 0·15 सर्पण पर प्राप्त होती है, इस कारण प्राकृतिक रूप से वक्र दो भागों में बँट जाते हैं। एक भाग सर्पण के अल्प मानों के लिये होता है (0·1 से कम) ; और दूसरा भाग उच्च सर्पण मानों के लिये ($\frac{1}{3}$ से अधिक)। अल्प सर्पण पर प्रतिकारिता का प्रभाव भी कम होता है, क्योंकि यह रोध से कम होती है, तथा उससे चतुष्क (Quadrature) में होती है। तब भ्रमिता धारा :

$$I_r=\frac{E'_r.s.}{\sqrt{R_r^2+(X'_r s)^2}} \approx \frac{E'_r}{R_r}s \text{ जब कि } s<\frac{1}{10}$$

इस अवस्था में विभ्रमिषा :

$$T=K\phi E'_r R_r \frac{S}{R^2_r+(X'_r s)^2} \approx \frac{K\phi E'_r}{R_r} s=K's$$

ये उपसन्न समीकार यह दिखाते हैं, कि सर्पण के अल्प मानों पर, भ्रमिता धारा तथा विभ्रमिषा दोनों ही सर्पण के समानुपात में विचरण करते हैं। इसे,

चित्र 12-4 के वक्रों के सीधे भाग द्वारा दिखाया गया है; जहाँ पर वेग के समक्रमिक वेग से थोड़ा भी घटने पर, धारा तथा विभ्रमिषा दोनों ही तेज़ी से बढ़ते हैं। मोटर के लिये, यही, सामान्य प्रवर्तन परास (Normal Operating Range) होता है।

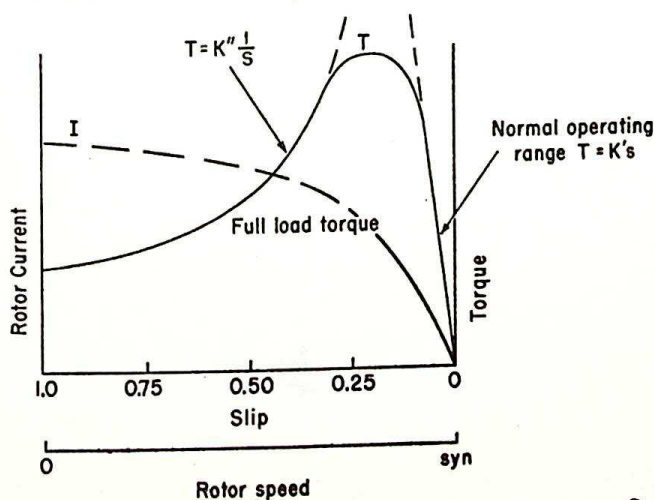
सर्पण के उच्च मानों पर, रोध अवबाधिता का नगण्य अंश होता है। इस प्रकार निम्नलिखित धारा तथा विभ्रमिषा समीकार प्राप्त होते हैं।

$$I_r = \frac{E'_r.s}{\sqrt{R_r^2 + (X'_r.s)^2}}. \quad \approx \frac{E'_r}{X'_r} \text{ जब } s > \frac{1}{3}.$$

$$T = K\theta E'_r.R_r. \ \frac{s}{R_r^2 + (X'_r.s)^2}$$

$$\approx \frac{1}{s} \cdot \frac{K\theta E_r'.R_r}{(X'_r)^2} = K'' \frac{1}{s} \qquad \text{जब } s > \frac{1}{3}.$$

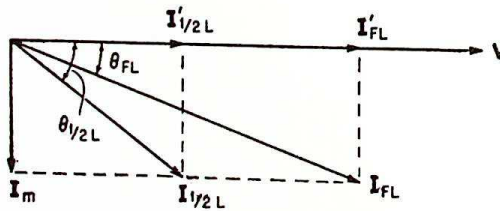
ये उपसन्न (Approximate) समीकार दिखाते हैं, कि जब वेग समक्रमिक वेग को $\frac{2}{3}$ से कम होता है, तो धारा का मान लगभग स्थिर हो जाता है; और विभ्रमिषा, सर्पण के प्रतीपानुपात में विचरण करती है। इस कारण सर्पण के घटने पर विभ्रमिषा बढ़ने की चेष्टा करती है। ये सम्बन्ध चित्र 12-4 के वक्रों में दिखाये गये हैं।

मोटर के इन लक्षणों की व्याख्या भौतिक रूप से भी की जा सकती है। इसका आधार यह है, कि अल्प सर्पण मान पर, शक्ति खंड सापेक्षतया ऊँचा होता है; और इसलिये विभ्रमिषा धारा के लगभग समानुपात में होती है। उच्च सर्पण मान पर, धारा लगभग स्थिर होती है। इसलिये स्यंद और धारा के बीच का वरिमा प्रावस्था अंतर कोण (Angle of Space Phase Difference)

चित्र 12-4 : सर्पण के साथ प्ररोचन मोटर की विभ्रमिषा का विचरण

नियंत्रण कारक (Controlling Factor) हो जाता है। उच्च सर्पण पर, उपसदन विभ्रमिषा समीकार की जाँच से यह ज्ञात होगा कि K'' के अन्दर, भ्रमिता रोध भी अन्तर्निहित है। इसलिये यदि किसी विधि से भ्रमिता का रोध बढ़ाया जा सके, तो कम वेग पर भी विभ्रमिषा बढ़ जायगी। स्यंद तथा धारा के बीच प्रावस्था अन्तर में प्रभावी रूप से कमी होना भी इस विभ्रमिषा वृद्धि का कारण समझा जा सकता है।

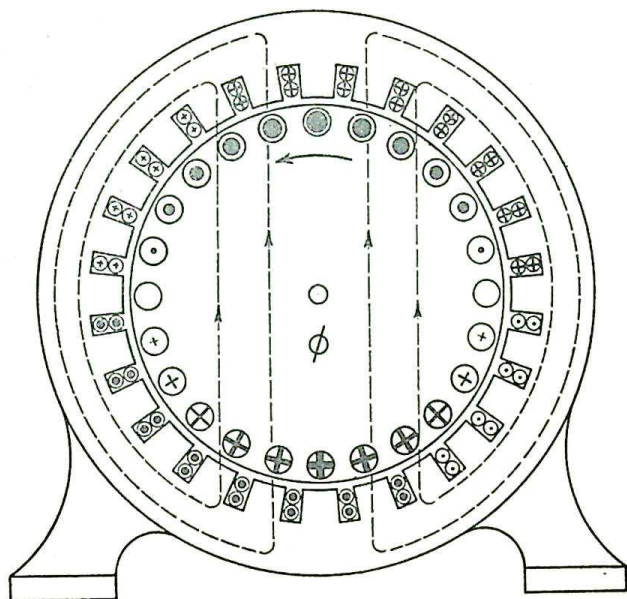
$\frac{1}{10}$ और $\frac{1}{3}$ के बीच के सर्पण मानों के लिये उपर्युक्त उपसदन समीकार ठीक नहीं बैठते, और परिशुद्ध समीकारों का उपयोग आवश्यक हो जाता है। इसी परास में, अधिकतम विभ्रमिषा अवस्था भी प्राप्त होती है, और दोनों वक्रभागों को एक अन्तर्वर्ती वक्र (Transition Curve) द्वारा मिला दिया जाता है।

मोटर प्रवर्तन पर, वोल्टता विचरण का प्रभाव महत्वपूर्ण है, तथा उपर्युक्त समीकारों से ज्ञात किया जा सकता है।* स्यंद, आरोपित वोल्टता के समानुपात में घटती है। चूँकि द्वितीयक धारा, स्यंद पर आश्रित होती है, इसलिये यह भी वोल्टता के समानुपात में घट जायगी। इस प्रकार किसी सर्पण पर; विभ्रमिषा वोल्टता के वर्ग के अनुसार विचरण करेगी।

स्थाता पर भ्रमिता की प्रतिक्रिया : चित्र 12-3 में यह मान लिया गया था, कि स्यंद, ऊर्ध्वाधर है तथा प्रदीपन धारा द्वारा उत्पन्न होती है, जो वर्तन के दाऐं और बाऐं पार्श्वों में सकेन्द्रित होती है। यह धारा, काल प्रावस्था में, वर्तनों पर आरोपित वोल्टता से 90° अनुगामी होती है, तथा आन्तरिक जनित वोल्टता से 90° अग्रित रहती है। इस प्रकार यह परिवर्तित्र की प्रदीपन धारा के समान

चित्र 12-5 : **भार के साथ प्ररोचन मोटर के शक्ति खंड में विचरण**

है। भ्रमिता धारायें चुम्बक गामक बल उत्पन्न करती हैं, जो स्यंद को बदलने की चेष्टा करता है। स्यंद में थोड़ा भी परिवर्तन होने पर, आन्तरिक जनित वोल्टता, आरोपित वोल्टता के ठीक बराबर एवं विरुद्ध नहीं रह जाती। इसलिये भ्रमिता धारा का निष्फलन करने के हेतु, स्थाता में अतिरिक्त धारा प्रवाहित

* ये समीकार केवल उपसन्न (Approximate) हैं; क्योंकि वायु विच्छेद स्यंद को आरोपित वोल्टता के समानुपात में माना गया है। स्थाता वर्तनों में च्यावी प्रतिकारिता पर्याप्त मात्रा में होती है, और परिशुद्ध परिणामों के लिये, इनको विचार में रखना आवश्यक है।

होगी। जैसा कि ऊपर समझाया गया है, यह निष्फलन धारा, जनित वोल्टता से लगभग प्रावस्था में होगी।

चित्र 12-6 : **प्ररोचन मोटर के वास्तविक वर्तन में धारा विभाजन**

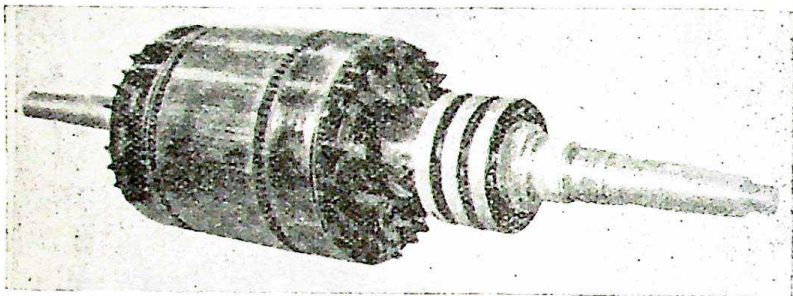
स्थाता धारा के ऊपर प्रभाव, चित्र 12-5 में दिखाया गया है। अधिकांश मोटरों में प्रदीपन धारा, पूर्ण भार धारा की 30 से 50 प्रतिशत तक होती है तथा लगभग 90° अनुगामी होती है। दूसरी ओर भार धारायें, वोल्टता के साथ लगभग प्रावस्था में होती हैं। इस कारण भार के बढ़ने पर मोटर का शक्ति खंड तेजी से बढ़ता है।* इसलिये प्ररोचन मोटर को कम भार पर चलाना बुद्धिमत्ता नहीं है; क्योंकि इससे शक्ति खंड बहुत कम हो जायगा, जिसके कारण अंततः औद्योगिक संस्थापन के लिये शक्ति का मूल्य अधिक हो जायगा।

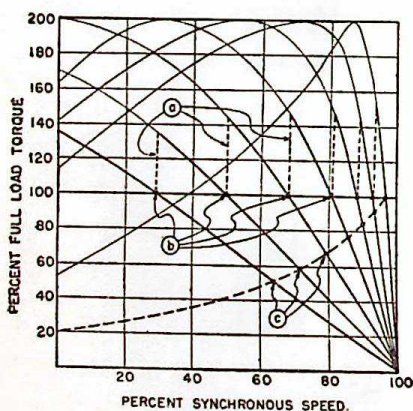
ऊपर यह नोट किया गया था, कि प्ररोचन मोटर, भार के बढ़ने पर, पहले कुछ धीमी होकर अपने आप को भार की वृद्धि के अनुसार व्यवस्थापित कर लेती है। इस कारण, भ्रमिता धारा, वोल्टता तथा विभ्रमिषा में वृद्धि हो जाती है। भ्रमिता धारा की वृद्धि, एक चु० गा० ब० उत्पन्न करती है; जो स्थाता धारा के भार संघटक द्वारा निष्फलित किया जाता है। स्थाता पर भ्रमिता की प्रतिक्रिया का यह क्रम (Sequence), परिवर्तित्र क्रिया के समरूप ही है।

---

* चित्र 12-6 में वह विधि दिखाई गई है, जिस विधि से स्थाता धारा के संघटक मिलकर पूर्ण स्थाता धारा बनाते हैं। इस रेखाचित्र के स्थाता में, जो ठीक वास्तविक रचना जैसा ही है, धारा का विभाजन, चित्र 12-3 में दिखाये गये दोनों संघटकों के समान ही है।

वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटर (Wound Rotor Induction Motor)

एक विशेष प्ररूप की प्ररोचना मोटर, जिसका प्रयोग, विचरणशील वेग के केन्द्रापग पम्पों, पंखों, कर्षकों (Hoists) और क्रेनो (Cranes) को चलाने

चित्र 12-7 : विचरणशील वेग प्ररोचन मोटर की एक वर्तित भ्रमिता

के लिये विस्तृत रूप से किया जाता है ; वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटर कहलाती है। इस मोटर में भ्रमिता के लिये प्रयुक्त होने वाली छिद्रकायें चित्र 12-9 में दिखलाये, E के समरूप होती हैं। इसमें एक त्रिफेज़ वर्तन प्रयोग किया जाता है, जिसके सिर तीन सर्पण वलयों से युजित होते हैं। कूर्चों द्वारा ये तीन वलय, त्रिफ़ेज़ रोधक से युजित किये जाते हैं, जिसका रोध क्रमशः घटाया जा सकता है। इस प्रकार भ्रमिता का प्रभावी रोध, विस्तृत परास पर बदला जा सकता है।

चित्र 12-8 : वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटर के लिये सप्त बिन्दु नियंत्रण : (a) नियत विभ्रमिषा भार के लिये आरम्भण पद। (b) नियत विभ्रमिषा भार के लिये वेग नियंत्रण। (c) विचरणशील विभ्रमिषा भार के लिये वेग नियंत्रण।

पहले विश्लेषण में यह ज्ञात हुआ था, कि प्रवर्तन सीमा में प्ररोचन मोटर की विभ्रमिषा, भ्रमिता धारा के समानुपात में होती है। यदि भ्रमिता रोध पूर्व मान का दुगुना कर दिया जाय, तो पहले जितनी भ्रमिता धारा उत्पन्न करने के लिये सर्पण का दुगुना हो जाना आवश्यक है। इसके कारण, उतनी ही विभ्रमिषा के लिये, वेग घट जाता है। चित्र 12-8 में एक प्ररूपिक वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटर के वेग-विभ्रमिषा वक्र दिखाये गये हैं। उस वक्र के लिये,

जो सर्पण के साथ सबसे अधिक ढलान के साथ बढ़ता है, भ्रमिता में बाहरी रोध नहीं लगाया जाता ; और वह पहले अध्ययन किये हुए विभ्रमिषा वक्र के समरूप है। साथ वाले वक्र के लिये, भ्रमिता के रोध के लगभग $1\frac{1}{2}$ गुने मान का रोधक उसमें जोड़ा गया है, और यह क्षमित विभ्रमिषा पर सर्पण को 4 प्रतिशत से बढ़ाकर 10 प्रतिशत कर देता है। विभ्रमिषा वक्रों का ढलाव, भ्रमिता रोध में वृद्धि के साथ तीव्रता से घटता है।

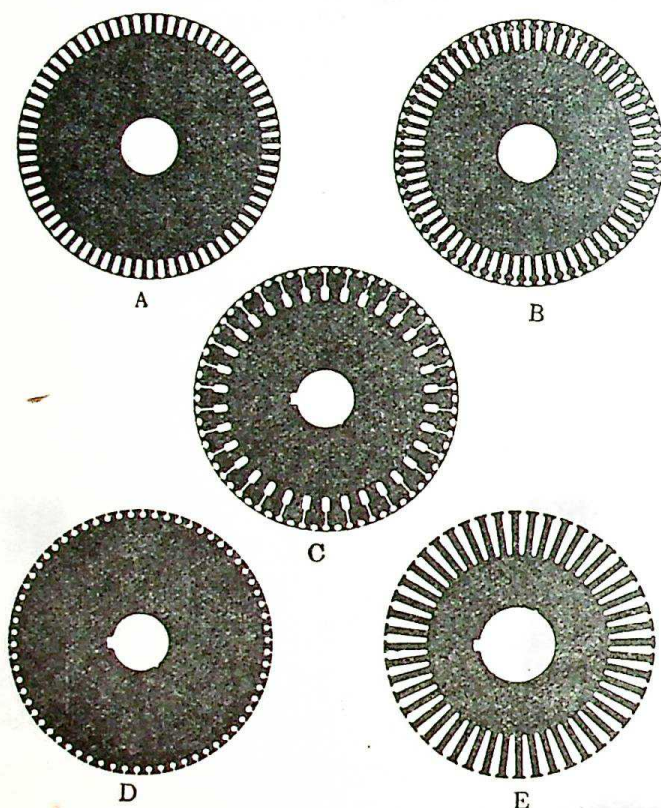
नियत पूर्ण भार विभ्रमिषा (Constant Full Load Torque) वाले भार के ऊपर मोटर का प्रारम्भण करते समय, भ्रमिता रोध को क्रमशः इस प्रकार घटाया जाता है, कि मोटर प्रवर्तन (*a*) द्वारा देशित विन्दुकित रेखा के अनुसार हो। (चित्र 12-8)। इनमें से प्रत्येक दशा के लिये स्थायी वेग (Stabilized Speed) का वक्र (*b*) द्वारा देशित किया गया है। विचरणशील विभ्रमिषा वाले भार के लिये (जैसे कि पम्प इत्यादि), स्थायी वेग वक्र (*c*) द्वारा दिखाया गया है।

प्ररोचन मोटर के भ्रमिता की दक्षता को, वास्तविक और समक्रमिक गति के अनुपात के बराबर सिद्ध किया जा सकता है। भ्रमिता रोध द्वारा जब प्ररोचन मोटर का वेग घटाया जाता है, तब दक्षता भी घट जाती है। पम्पों तथा ध्मात्रों (Blowers) के लिये, अपेक्षित अश्वशक्ति, वेग के घटने पर तीव्रता से घटती है। वर्तित भ्रमिता मोटर के भ्रमिता रोध को बढ़ाकर इनके वेग को घटाने से, दक्षता के कम होते हुए भी, शक्ति में कुछ कमी प्राप्त होती है। वर्तित भ्रमिता मोटरों का आरम्भण, भ्रमिता रोध को अधिकतम मान से क्रमशः घटाकर किया जाता है। ऐसी अवस्थाओं में, वर्तित भ्रमिता मोटर की आरम्भण धारा, भार द्वारा अपेक्षित आरम्भण विभ्रमिषा के तुल्य (पूर्ण भार मान के प्रतिशत में) होती है। कुछ दशाओं में यह वास्तविक लाभ होता है।

वर्तित भ्रमिता मोटर के अलाभ (Disadvantages) निम्नलिखित हैं :— पन्जर मोटर की अपेक्षा इसका मूल्य बहुत अधिक होता है और दक्षता कम होती है। साथ ही सर्पण वलय, कूर्चों तथा नियंत्रक के लिये भी अतिरिक्त देखभाल की आवश्यकता होती है।

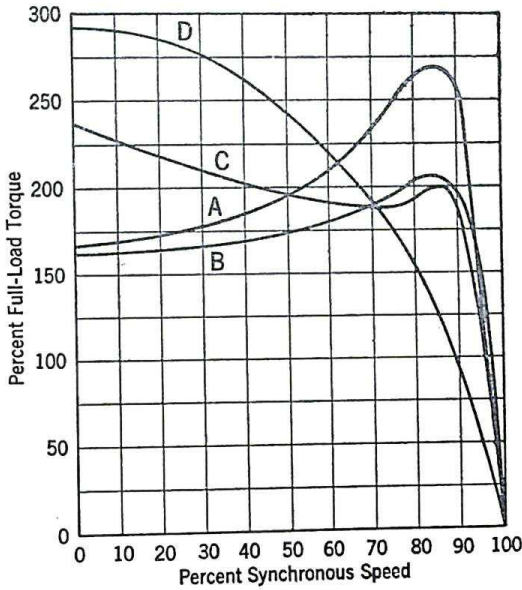
द्वि-पन्जर प्ररोचन मोटर
(Double Squirrel Cage Induction Motor)

अल्परोध के पन्जर भ्रमिता के मुख्य अलाभ, उसकी उच्च आरम्भण धारा तथा अल्प आरम्भण विभ्रमिषा हैं। ये कठिनाइयाँ एक ही भ्रमिता पर दो पन्जर वर्तन के प्रयोग से दूर की जा सकती हैं। एक पन्जर वर्तन वायु, विच्छद के समीप होता है, जहाँ प्रतिकारिता कम होती है। इसके संहावकों का आकार कम होता है, जिससे रोध काफी अधिक होता है। दूसरा, भ्रमिता में गहराई

पर नीचे दबाया रहता है, इसलिये इसकी प्रतिकारिता अधिक होती है। इसके संवाहकों का आकार बड़ा होता है, और इसलिये इसका रोध काफी कम होता है। ऐसे द्विपन्जर भ्रमिता की छिद्रकायें चित्र 12-9 (*C*) में दिखाई गई है।

चित्र 12-9 : **प्ररोचन मोटर की प्रारूपिक भ्रमिता आपट्टिकायें।** *A*–**सामान्य विभ्रमिषा, सामान्य प्रारम्भण धारा के पन्जर मोटर के लिये।** *B*–**सामान्य विभ्रमिषा, अल्प प्रारम्भण धारा के पन्जर मोटर के लिये।** *C*–**उच्च विभ्रामिषा, अल्प प्रारम्भण धारा के पन्जर मोटर के लिये।** *D*–**उच्च विभ्रमिषा, उच्च सर्पण के पन्जर मोटर के लिये।** *E*–**र्वातित भ्रमिता मोटर के लिये।**

द्वि-पन्जर भ्रमिता की क्रिया इस प्रकार की होती है, कि आरम्भण पर, भीतर वाले पन्जर की उच्च प्रतिकारिता, अधिक धारा प्रवाह में रुकावट डालती है और इस प्रकार आरम्भण धारा को सीमित कर देती है। बाहरी पन्जर के उच्च रोध के कारण उच्च आरम्भण विभ्रमिषा प्राप्त होती है। जैसे-जैसे भ्रमिता की गति बढ़ती जाती है, वैसे-वैसे, भ्रमिता धाराओं की बारंबारता घटती जाती है और स्पंद का अधिकांश भाग भीतरी पन्जर का वेधन करने लगता है। इस दशा में सम भ्रमिता रोध (Equivalent Rotor Resistance) दो, पन्जरों के समानान्तर रोध के बराबर होता है। यह प्ररचन, सापेक्षतया, कम आरम्भण धारा

पर उच्च आरम्भण विभ्रमिषा प्रदान करता है; और साथ ही सामान्य भारों पर सापेक्षतया अल्प सर्पण के एक दक्ष मोटर का प्रावधान करता है।

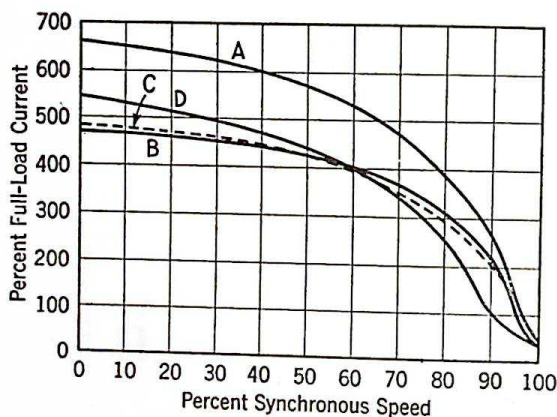
भ्रमिता में गहरे खाँचों का प्रयोग कर के भी ऐसा ही प्रभाव उत्पन्न किया जा सकता है, जैसे चित्र 12-9 (B) में दिखाया गया है। परन्तु प्रभाव उतना सुनिश्चित नहीं होता, जितना कि एक द्वि-पन्जर मोटर में।

चित्र 12-10 : **पन्जर मोटर के वेग-विभ्रमिषा वक्र :** A–**सामान्य विभ्रमिषा सामान्य आरम्भण धारा के लिये।** B–**सामान्य विभ्रमिषा, अल्प आरम्भण धारा के लिये।** C–**उच्च विभ्रमिषा, अल्प आरम्भण धारा के लिये।** D–**उच्च विभ्रमिषा, उच्च सर्पण के लिये।**

प्ररोचन मोटर के प्रमाणिक प्ररूप

(Standard Types of Induction Motors)

एक ही स्थाता, किन्तु विभिन्न भ्रमिताओं का प्रयोग करके विभिन्न प्रकार के मोटर लक्षण प्राप्त करना संभव है। परन्तु विभिन्नता के कारण, उत्पादन मूल्य में काफी वृद्धि हो जाती है। इसलिये विद्युत् मशीनों के निर्माता, सापेक्षतया कम प्ररूप के भ्रमिताओं को प्रमाणिक करने के पक्ष में होते हैं। इन प्ररूपों में, भार आवश्यकताओं की विभिन्नता तथा उत्पादन मूल्य के बीच संतोषप्रद समझौता कर लिया जाता है। इस समझौते के अनुसार भ्रमिता, मुख्यतः, पाँच प्रकार की होती है; जिनकी छिद्रकायें चित्र 12-9 में दिखाई गई हैं। इनमें से पहले चार प्रकार की भ्रमिताओं के वेग-विभ्रमिषा तथा वेग-धारा लक्षण, चित्र 12-10 और 12-11 में दिये गये हैं।

A के लिये वेग विभ्रमिषा वक्र, सापेक्षतः, अल्प रोध तथा अल्प प्रतिकारिता वाले भ्रमिताओं के लिये प्रारूपिक है। इसमें उच्च अधिकतम विभ्रमिषा, तथा सापेक्षतया अल्प आरम्भण विभ्रमिषा प्राप्त होती है। परन्तु इसकी आरम्भण धारा बहुत अधिक होती है : पूर्ण भार धारा के $6\frac{1}{2}$ गुना तक। कम आरम्भण धारा पर उतनी ही विभ्रमिषा उत्पन्न करने के लिये, B की आकृति का भ्रमिता प्रयोग किया जाता है। यह आरम्भण धारा को सामान्य मान के 5 गुना तक सीमित कर देता है; तथा अधिकतम विभ्रमिषा, और साथ ही साथ शक्ति खंड भी कम हो जाता है।

कम आरम्भण धारा पर, अति उच्च आरम्भण विभ्रमिषा पाने के लिये C की आकृति का द्वि-पन्जर भ्रमिता प्रयोग किया जाता है। थोड़ा अधिक मूल्य तथा कम शक्ति खंड इसके अलाभ हैं; परन्तु इसकी प्रवर्तन दक्षता उच्च होती है।

चित्र 12-11 : पन्जर मोटरों के वेग-धारा वक्र : A–समान्य विभ्रमिषा, सामान्य आरम्भण धारा के लिये। B–सामान्य विभ्रमिषा, अल्प आरम्भण धारा के लिये। C–उच्च विभ्रमिषा, अल्प आरम्भण धारा के लिये। D–उच्च विभ्रमिषा, उच्च सर्पण के लिये।

जहाँ पर अत्यधिक आरम्भण विभ्रमिषा की आवश्यकता होती है और प्रवर्तन दक्षता महत्वपूर्ण नहीं होती, अथवा जहाँ भार परिवर्तन के साथ वेग में पर्याप्त विचरण अपेक्षित होता है (मोटर पर जोर घटाने के हेतु), वहाँ उच्च रोध का भ्रमिता D प्रयुक्त होता है। इस मोटर की एक प्रारूपिक प्रयुक्ति, पन्च प्रेस के गतिपालक (Fly Wheel) को चलाने में है, जो छिद्रण प्रवर्तन के लिये ऊर्जा संग्राहित करके रखता है।

E की आकृति की भ्रमिता में छिद्रकाओं के खाँचे बड़े होते हैं जिनसे एक विसंवाहित त्रिफेज़ वर्तन के लिये पर्याप्त स्थान प्राप्त हो सके। यह वर्तित भ्रमिता मोटर में प्रयुक्त होता है जिसका वर्णन ऊपर किया जा चुका है।

अभ्यास 12-2 : एक 5 *HP.*, 220 वोल्ट 1750 प० प्र० मि०, सामान्य विभ्रमिषा, सामान्य आरम्भण धारा वाली त्रिफ़ेज़ प्ररोचन मोटर की आरम्भण धारा चित्र 12-11 के वक्रों की सहायता से निकालिये। मोटर की पूर्ण भार दक्षता 82 प्रतिशत तथा शक्ति खंड 0·88 मान लीजिये।

अभ्यास 12-3 : चित्र 12-10 से तथा क्षमित अवस्थाओं पूर्ण भार के लिये अभ्यास 12-2 के मोटर द्वारा उत्पन्न अधिकतम विभ्रमिषा पाउंड-फीट में निकालिये। जिस वेग पर अधिकतम विभ्रमिषा प्राप्त होती है, वह वेग भी निकालिये।

अभ्यास 12-4 : अभ्यास 12-2 और 12-3 को एक सामान्य विभ्रमिषा एवं अल्प आरम्भण धारा वाले मोटर के लिये दोहराइये।

अभ्यास 12-5 : अभ्यास 12-2 और 12-3 को एक उच्च आरम्भण विभ्रमिषा एवं अल्प आरम्भण धारा वाले मोटर के लिये दोहराइये।

अभ्यास 12-6 : अभ्यास 12-2 और 12-3 को एक उच्च आरम्भण विभ्रमिषा एवं उच्च सर्पण वाले मोटर के लिये दोहराइये।

प्ररोचन मोटरों का आरम्भण (Starting of Induction Motors)

प्ररोचन मोटरों की रचना ऐसी होती है, कि इन्हें लाइन के आरपार सीधे ही युजन करने वाले एक स्विच को दबाकर आरम्भ किया जा सकता है। आरम्भण की यह विधि सबसे सरल तथा सबसे सस्ती है; और मोटर भी शीघ्रता पूर्वक गति पर आ जाता है। इस कारण प्ररोचन मोटरों के आरम्भण की यह विधि, सर्वसामान्य है।

बड़ी मोटरों की आरम्भण धारा, शक्ति-प्रभव लाइन पर अत्यधिक बोझ डाल सकती हैं। इस प्रकार लाइन में वोल्टता पात अधिक होगा और अन्य सज्जा के प्रवर्तन में गड़बड़ी होगी। ऐसी अवस्था में आरम्भण धारा को सीमित रखने का कुछ उपाय करना आवश्यक है। पन्जर मोटरों के लिये दो विधियाँ प्रयोग की जाती हैं। सबसे सरल विधि, स्थाता के वाहकों में रोधक निवेशित करने की है। इससे स्थाता के आरपार वोल्टता घट जाती है, और इसलिये स्थाता धारा भी घट जाती है। वायु विच्छद स्यंद, अवसान वोल्टता के समानुपात में घटती है, और भ्रमिता धारा वायु विच्छद स्यंद के समानुपात में घटती है है। चूंकि विभ्रमिषा; धारा और स्यंद के गुणन पर निर्भर करती है, इसलिये वह वोल्टता में कमी के वर्ग के अनुपात में घट जाती है। यदि आरम्भण धारा बहुत अधिक घटा दी जाय, तो विभ्रमिषा, भार का आरम्भण करने के लिये अपर्याप्त होगी।

लाइन धारा को घटाने की दूसरी विधि, रोधक विधि से कुछ लाभप्रद अवश्य है, किन्तु कुछ मँहगी होती है। इसमें भी मोटर वोल्टता को घटाया जाता है; वोल्टता में कमी की सीमा भार के आरम्भण के लिये अपेक्षित विभ्रमिषा द्वारा निर्धारित होती है। इसमें वोल्टता को आत्मग परिवर्तित्र (Autotransformer)

द्वारा घटाया जाता है। इस विधि की विशेषता यह है, कि धारा, वोल्टता में कमी के वर्ग के अनुसार घटती है। पहली विधि में यह कमी वोल्टता में कमी के सीधे अनुपात में थी। जहाँ पर लाइन लक्षणों के कारण वोल्टता को सीमित रखना होता है, वहाँ आत्मग परिवर्तित्र का प्रयोग [जिसे बहुधा कम्पेन्सेटर (Compensator) भी कहते हैं] रोधक की अपेक्षा अधिमान्य होता है।

'लाइन के आर-पार आरम्भण' (Across the Line Starting) के लिये चित्र 12-9 से 12-11 तक दिखाई गईं B और C प्ररूप की मोटरें अधिमान्य होती हैं। A प्ररूप की अपेक्षा, इस मोटर को लाइन के आर-पार आरम्भण करना संभव हो सकता है; जब कि उसी अवस्था में A प्ररूप के लिये कम्पेन्सेटर की आवश्यकता होगी।

जब लाइन धारा की सीमायें B अथवा C प्ररूप की मोटरों द्वारा सन्तुष्ट नहीं हो सकतीं; तब आरम्भण रोधक अथवा कम्पेन्सेटर का प्रयोग आवश्यक हो जाता है। आत्मग परिवर्तित्र के प्रयोग में, आरम्भण धारा में कमी, उसमें प्रयोग किये जाने वाले निसूत्रक पर निर्भर करती है। सामान्यत: इनमें 65% और 80% के निसूत्रकों का प्रावधान रहता है; जो उस परिमाण की द्वितीयक वोल्टता देते हैं। जैसा पहले बताया जा चुका है, मोटर धारा वोल्टता के अनुपात में होती है, किन्तु लाइन धारा में कमी, वोल्टता कमी के वर्ग के अनुपात में होती है। इस प्रकार 80 प्रतिशत का निसूत्रक, पूर्ण वोल्टता आरम्भण धारा की 64 प्रतिशत लाइन धारा देगा। 65% का निसूत्रक, पूर्ण वोल्टता आरम्भण धारा की केवल 42% ही लाइन धारा देगा। आरम्भण विभ्रमिषा भी पूर्ण वोल्टता के वर्ग के अनुपात में ही घट जायेगी। इस कारण निसूत्रक का चुनाव, आरम्भण विभ्रमिषा और आरम्भण धारा की आवश्यकताओं के बीच समझौते पर आधारित होना चाहिये।

यहाँ, यह ध्यान रखना उचित होगा, कि सम्पूर्ण विभ्रमिषा-वेग वक्र, वोल्टता कमी के वर्ग के अनुसार कम हो जाता है; चाहे यह कमी रोधक द्वारा, अथवा आत्मग परिवर्तित्र के द्वारा उत्पन्न की गई हो और या कम लाइन वोल्टता के कारण ही हो। **इस प्रकार प्रेरोचन मोटर की उपलब्ध विभ्रमिषा, किसी भी वेग पर, लाइन वोल्टता के वर्ग के अनुसार विचरण करती है।**

यह दिखाने के लिये, कि किसी विशिष्ट मोटर के चुनाव के लिये; और यह ज्ञात करने के लिये, कि ये संतोषजनक रूप से प्रवर्तन करेंगें अथवा नहीं, लक्षण वक्रों[1] का प्रयोग किस प्रकार किया जा सकता है; इसके लिये दृष्टान्त के रूप में तीन समस्याओं का समाधान किया जायगा।

---

[1] पिछले कुछ वर्षों में, विद्युत शक्ति लाइनों की बढ़ी हुई क्षमता के कारण, B वर्ग की मोटरों को, सीधे ही लाइन के आर-पार युजित कर के आरम्भण करना संभव है। इस कारण B वर्ग की मोटरें, इतनी अधिक अधिमान्य हो गई हैं, कि ये अब प्रामाणिक अथवा सामान्य उपयोग की मोटरें बन गई हैं।

उदाहरण 1 : एक भार को, जिसे 1750 प० प्र० मि० पर 40 *HP.* की आवश्यकता है ; 220 वोल्ट, त्रिफ़ेज़ लाइन से युजित एक प्ररोचन मोटर द्वारा प्रदाय कराना है। जन उपयोगिता कम्पनी निर्धारित करती है, कि आरम्भण धारा 350 अम्प० से अधिक नहीं होनी चाहिये। उचित प्ररूप की मोटर तथा आरम्भण सज्जा निर्धारित कीजिये ; जब कि भार की आरम्भण विभ्रमिषा पूर्ण भार विभ्रमिषा की 25 प्रतिशत हो, और वेग के साथ क्रमश: बढ़कर, क्षमित गति पर पूर्ण भार विभ्रमिषा की 100 प्रतिशत हो जाय।

समाधान 1. : मान लीजिये कि 40 *HP.* की *A* श्रेणी की मोटर प्रयोग की जा सकती है। साथ ही 88% दक्षता और 0.7 शक्ति खंड को मान लीजिये जो इस प्ररूप की मोटर के लिये काफ़ी संभावी राशियाँ हैं।

2. पूर्ण भार धारा की संगणना कीजिये।

$$\text{आदा शक्ति} = \frac{746\times40}{0\cdot88} = 34\ KW.$$

$$\text{पूर्णभार धारा } I = \frac{34\times1000}{0\cdot9\times220\times\sqrt{3}} = 99 \text{ अम्प०}$$

3. चित्र 12-11 से आरम्भण धारा निकालिये।

100% वोल्टता पर $I_s = 99\times6\cdot5 = 640$ अम्प०

80% वोल्टता पर (आत्मग परिवर्तित्र द्वारा)

$$I_s = 640\times(\cdot8)^2 = 410 \text{ अम्प०}$$

65% वोल्टता पर (आत्मग परिवर्तित्र द्वारा)

$$I_s = 640\times(\cdot65)^2 = 275 \text{ अम्प०}$$

धारा को निर्धारित सीमाओं में रखने के लिये 65% निसूत्रक के आत्मग परिवर्तित्र का प्रयोग करना होगा।

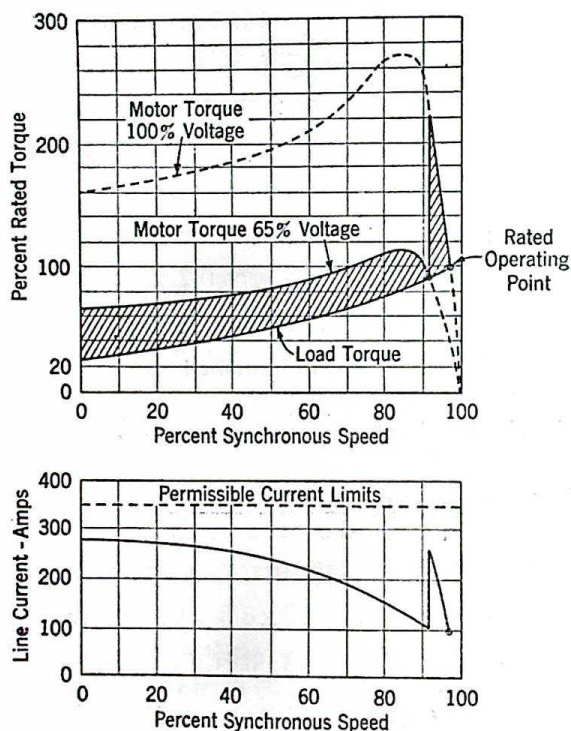
4. 65% के निसूत्रक के प्रयोग पर आरम्भण विभ्रमिषा निकालिये। चित्र 12-10 से, पूर्ण वोल्टता आरम्भण विभ्रमिषा लगभग 160% के मिलती है। इसलिये 65% के निसूत्रक पर,

$$T = 160\times(0\cdot65)^2 = 67\% \text{ (पूर्ण भार विभ्रमिषा की)}$$

शून्य वेग पर, भार की आवश्यकताओं के लिये, इतनी विभ्रमिषा पर्याप्त है।

5. आत्मग परिवर्तित्र को परिपथ से वियुजित करने के पश्चात् जब मोटर लाइन के आर-पार हो जाती है, तब धारा का मान निकालिये।

इसे निकालने के लिये मोटर तथा भार के वेग विभ्रमिषा लक्षण वक्रों का विश्लेषण करना आवश्यक है। इससे यह निकाला जा सकेगा कि कम वोल्टता पर वेग का मान क्या होगा ? ये वक्र तथा धारा-वेग वक्र चित्र 12-12 में अंकित किये गये हैं। ये चित्र 12-10 तथा 12-11 के आधार पर खींचे गये हैं ;

और जैसा पहले परिच्छेद में समझाया गया है, कम वोल्टता के प्रभाव के लिये शोधित कर लिये गये हैं।

चित्र 12-12 : **उदाहरण 1 के लिये वेग-विभ्रमिषा तथा वेग-धारा वक्र**

चित्र में छायादार भाग त्वरण के हेतु उपलब्ध विभ्रमिषा को देशित करता है। 65% वोल्टता द्वारा, समक्रमिक वेग के 92% वेग तक पहुँचने के लिये ; त्वरक विभ्रमिषा (Accelerating Torque) उपलब्ध है। जब इस वेग पर, मोटर सीधे ही लाइन के आरपार हो जाता है, तो धारा 260 अम्प० तक बढ़ जायगी और तब शीघ्रता से घट कर क्षमित मान पर आ जायगी। धारा की यह वृद्धि, शक्ति कम्पनी द्वारा लगाई हुई सीमाओं का अतिक्रम नहीं करती।

6. *B* और *C* दोनों वर्ग की मोटरें, आरम्भण के समय क्षमित धारा की लगभग 490 प्रतिशत धारा लेती हैं। इसलिये इनकी पूर्ण वोल्टता आरम्भण धारा, लगभग 435 अम्प० होगी। चूँकि इन दोनों में से किसी भी प्रकार की मोटर लाइन से सीधे ही युजित नहीं की जा सकेगी, इसलिये इनके प्रयोग से कोई लाभ न होगा। क्योंकि अन्य मोटरों की अपेक्षा *A* वर्ग की मोटरों की दक्षता, शक्ति खंड, और उदाकृष्य विभ्रमिषा (Pullout Torque), (मोटर के अतिभार के कारण बंद होने तक की अधिकतम विभ्रमिषा) श्रेष्ठतर होती हैं, इसलिये इसे ही अधिमान्य किया जायगा। *B* वर्ग की मोटर भी संतोषजनक हो सकती है

क्योंकि A की अपेक्षा, इसकी आरम्भण धारा कम तथा आरम्भण विभ्रमिषा उसके बराबर होगी।

उदाहरण 2 : एक भार को, जिसे 1700 प० प्र० मि० पर 40 *HP.* की आवश्यकता है, 220 वोल्ट की त्रिफ़ेज़ लाइन से युजित एक प्ररोचन मोटर द्वारा प्रदाय कराना है। जन उपयोगिता कम्पनी द्वारा, आरम्भण धारा की सीमा 500 अम्प० निर्धारित है। भार की आरम्भण विभ्रमिषा भी क्षमित पूर्ण भार विभ्रमिषा के बराबर है; और किसी भी वेग पर उतनी ही रहती है। मोटर का प्ररूप और आरम्भण सज्जा निर्धारित कीजिये।

समाधान : यह अवलोकित होगा कि दिया हुआ विवरण, उदाहरण 1 के विवरण से मिलता है। अन्तर केवल इतना ही है कि अनुमत आरम्भण धारा 500 अम्प० है और भार विभ्रमिषा वेग के साथ विचरण नहीं करती।

(1) उदाहरण 1 से यह ज्ञात होगा कि A वर्ग की मोटर, लाइन के आरपार आरम्भण में, अत्यधिक धारा लेती है किन्तु 80% के निसूत्रक का प्रयोग करने पर धारा अनुमत सीमा के अन्दर रहती है। इस अवस्था में

$$\text{आरम्भण विभ्रमिषा} = 160 \times (0{\cdot}8)^2 = 103 \text{ प्रतिशत}$$

A वर्ग की मोटर आत्मग परिवर्तित्र के साथ, निर्धारित आवश्यकताओं को पूर्ण अवश्य कर देती है, किन्तु पूर्ण गति पर पहुँचाने के लिये त्वरक विभ्रमिषा प्राप्त नहीं होती।

(2) चित्र 12-11 के वक्रों से यह पाया जाता है कि B वर्ग की मोटर की आरम्भण धारा $99 \times 4{\cdot}9 = 485$ अम्प० होगी जो कि अनुमत सीमा के अन्दर है। इसकी आरम्भण विभ्रमिषा, क्षमित विभ्रमिषा की 160 प्रतिशत होगी।

(3) इन अवस्थाओं में B वर्ग की मोटर ही अधिमान्य होगी क्योंकि :

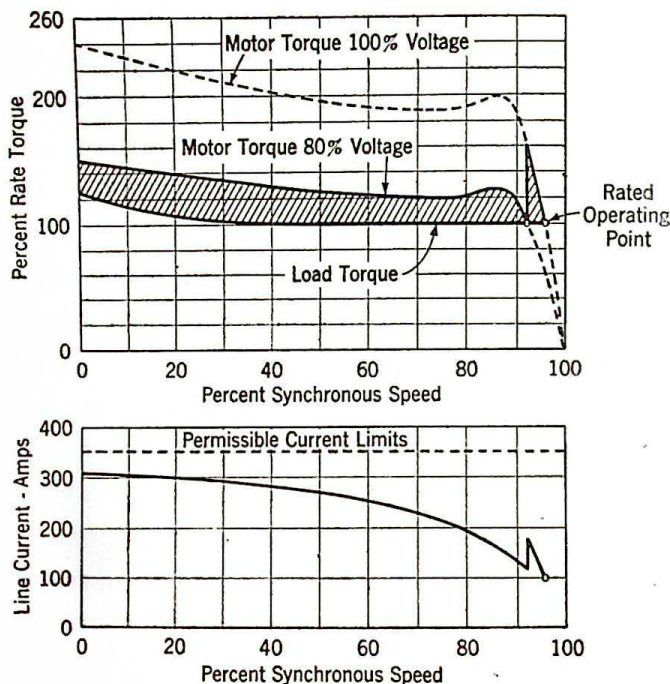
(अ) आरम्भण विभ्रमिषा की दृष्टि से अच्छा सुरक्षा खंड प्राप्त होता है।

(ब) आत्मग परिवर्तित्र की आवश्यकता न होने के कारण, मूल्य में भी कम होगी।

(स) प्रवर्तन तथा देखभाल में भी सरल है।

उदाहरण 3 : 1700 प० प्र० मि० पर, 40 *HP.* की आवश्यकता वाले भार को 220 वोल्ट की त्रिफ़ेज़ लाइन से युजित एक प्ररोचन मोटर द्वारा प्रदाय कराना है। आरम्भण धारा 350 अम्प० तक सीमित रहनी है। भार की आरम्भण विभ्रमिषा, क्षमित पूर्ण भार विभ्रमिषा की 125% निर्धारित है, तथा 50% वेग पर क्षमित मान के बराबर हो जाती है। मोटर का प्ररूप तथा आरम्भण सज्जा निर्धारित कीजिये।

समाधान : यह भी उदाहरण 1 और 2 जैसा ही है। केवल आरम्भण परिसीमायें अधिक कठोर हैं।

(1) लाइन के आरपार सीधे ही आरम्भ करने से कोई भी मोटर धारा परिसीमाओं को संतुष्ट नहीं कर सकेगी।

चित्र 12-13 : उदाहरण 3 के लिये वेग-विभ्रमिषा तथा वेग-धारा वक्र

(2) आत्मग परिवर्तित्र में, 80% के निसूत्रक के प्रयोग करने पर, विभिन्न प्ररूपों की मोटरों की धारा तथा विभ्रमिषा, जो चित्र 12-10 तथा 12-11 से निश्चित की गई हैं, तथा परिवर्तित्र अनुपात के अनुसार शोधित की गई है, नीचे दी गई है।

	वर्ग *A*	वर्ग *B*	वर्ग *C*
धारा	410	310	305
विभ्रमिषा	108	105	144

क्योंकि केवल *C* वर्ग की मोटर ही आरम्भण आवश्यकताओं को संतुष्ट कर सकती है, इसलिये 80% के निसूत्रक पर आत्मग परिवर्तित्र के साथ इसका प्रयोग करना होगा।

मोटर को लाइन के आरपार सीधे ही लगा देने पर दूसरी क्रांतिक धारा परिसीमा (Critical Current Limitation) आ जाती है। वेग-विभ्रमिषा तथा वेग-धारा वक्र, चित्र 12-13 में अंकित किये गये हैं। यद्यपि उपलब्ध विभ्रमिषा, त्वरण के लिये पर्याप्त नहीं होती; फिर भी यह निर्धारित आवश्यकताओं को संतुष्ट करती है। जब मोटर को लाइन के आरपार लगा दिया जाता है (आरम्भण के बाद); तब भी धारा, सीमा के अन्दर ही रहती है। इन सब

कारणों से, 80% निसूत्रक का प्रयोग करते हुए एक आत्मग परिवर्तित्र के साथ, *C* वर्ग की मोटर ही चुनी जायगी।

ऊपर के तीनों दृष्टान्त, प्रामाणिक प्ररूपों की प्ररोचन मोटर चुनने की विधि को देशित करते हैं; और साथ ही इन विभिन्न प्ररूपों के कारणों को भी देशित करते हैं। आरम्भण धारा के अनुमत परिमाण को, यों ही स्वेच्छा से निर्धारित नहीं किया जा सकता, क्योंकि यह कई बातों पर आश्रित होता है। किसी विशिष्ट स्थिति के लिये, साधारणतया, सार्वजनिक उपयोगिता कम्पनी इन सीमाओं को निर्धारित करेगी। इसलिये यदि उपयोग करने के लिये, उचित सज्जा में संशय हो, तो इनके इन्जीनियरों का मत लेना चाहिये। यदि औद्योगिक संयन्त्र के भीतर ही विद्युत शक्ति का भी उत्पादन होता हो, तो आरम्भण परिसीमाओं का निश्चायन, संयन्त्र इंजीनियर के श्रेष्ठतम निर्णय द्वारा होना चाहिये। उसी शक्ति परिपथ से युजित अन्य अंशकों का वोल्टता विचरण मुख्य सीमाकारकों में से एक होगा।

अभ्यास 12-7 : 1750 प० प्र० मि०, 25 *HP*. अल्प आरम्भण धारा, सामान्य विभ्रमिषा की मोटर की उपलब्ध आरम्भण विभ्रमिषा (पाउण्ड-फ़ीट में) कितनी होगी?

अभ्यास 12-8 : 1160 प० प्र० मि० 15 *HP*., अल्प आरम्भण धारा, उच्च विभ्रमिषा की मोटर की उपलब्ध आरम्भण विभ्रमिषा कितनी होगी?

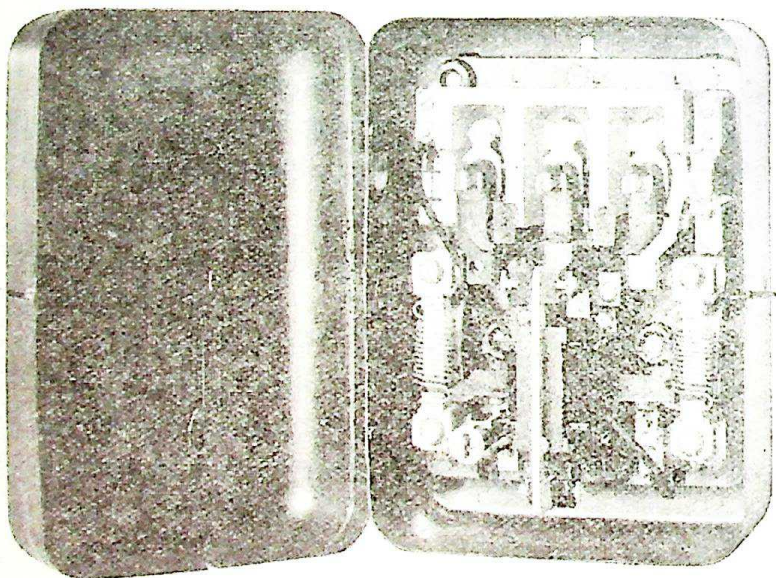
अभ्यास 12-9 : यदि आरम्भण पर लाइन वोल्टता पात, क्षमित वोल्टता का 10% हो, तो अभ्यास 12-7 के मोटर की आरम्भण विभ्रमिषा कितनी होगी?

अभ्यास 12-10 : यदि अभ्यास 12-7 की मोटर के साथ, 80% निसूत्रक का आत्मग परिवर्तित्र प्रयोग किया जाय; तब आरम्भण विभ्रमिषा तथा लाइन में आरम्भण धारा कितनी होगी (क्षमित धारा के प्रतिशत में)?

अभ्यास 12-11 : यदि लाइन धारा को घटाने के लिये, अभ्यास 12-8 की मोटर के साथ 65% निसूत्रक का आत्मग परिवर्तित्र प्रयोग किया जाय, तो आरम्भण विभ्रमिषा और लाइन धारा (क्षमित मान के प्रतिशत में) कितनी होगी?

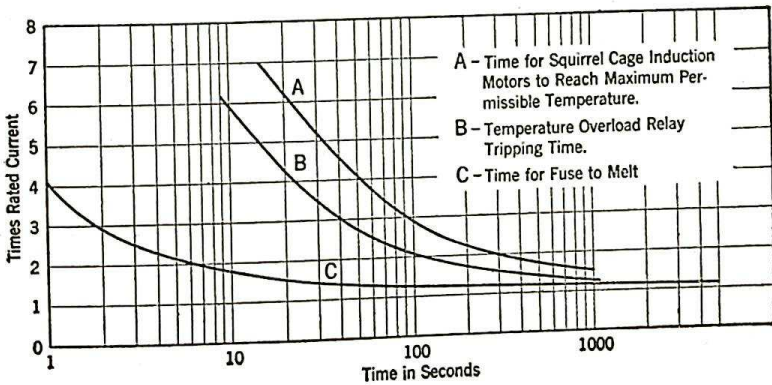
प्ररोचन मोटरों की नियंत्रक सज्जा
(Control Equipment for Induction Motors)

साधारणतया, प्ररोचन मोटरों का आरम्भण तथा विरमण (Stopping), चुम्बकीय संस्पर्शकों (Magnetic Contactors) के द्वारा किया जाता है, जो कि सुविधायुक्त स्थानों में स्थित, धक्क वटनों (Push Buttons) द्वारा नियंत्रित होते हैं। चित्र 12-14 में, 5 *HP*. की मोटर के लिये एक ऐसा ही संस्पर्शक

नियंत्रक दिखाया गया है। मोटर को, शक्ति लाइन के आर पार, सीधे ही युजित कर, आरम्भण किया जाता है, जैसा उपर्युक्त उदाहरण 2 में दिखाया गया है। ऐसे संस्पर्शकों में अतिभार सुरक्षा का प्रावधान होता है, जिससे कि धारा के बहुत बढ़ जाने पर, मोटर लाइन से वियुजित हो जाये। सामान्यतः, अतिभार सुरक्षा का विन्यास ऐसा किया जाता है, कि इसका परिपथ विच्छेद लक्षण (Circuit Opening Characteristic) मोटर के तापन लक्षण के समरूप हो; जैसा चित्र 12-15 में दिखाया गया है। चित्र 12-14 में दिखाये गये संस्पर्शक में इसे इस प्रकार प्राप्त किया जा सकता है। लाइन धारा को एक द्वि-धातु पट्टी (Bi-metallic Strip) के समीप (किन्तु उससे विसंवाहित), स्वयं आधारित (Self Supported) कुंडलों में से प्रवाहित कराया जाता है। द्वि-धातु पट्टी गरम होने पर परिपथ को खोल देती है। इसलिये, जब एक अथवा अधिक लाइन तारों पर अतिभार होता है, तब ये कुंडल (जिन्हें चित्र के दायें और बाँये निचले पार्श्व में देखा जा सकता है) पट्टी को गरम कर देते हैं जो नियंत्रक परिपथ को खोल कर स्विच को खोल देती है। कुंडल इस प्रकार व्यवस्थापित होते हैं कि मोटर के अतितापित होने के पहले ही स्विच को ट्रिप (Trip) कर दें।

चित्र 12-14 : **प्रेरोचन मोटर को लाइन के आरपार आरम्भण कराने वाला एक त्रिपोल चुम्बकीय स्विच**

जब आरम्भण धारा को सीमित रखने के लिये "कम वोल्टता आरम्भण" आवश्यक हो; तब अधिकतर आत्मग परिवर्तित्रों का प्रयोग किया जाता है जैसा ऊपर उदाहरण 1 और 3 में दिखाया गया है। जहाँ पर लाइन के आर पार सीधे

ही आरम्भण से, आरम्भण धारा की परिसीमाओं का थोड़ा ही व्यतिक्रम (Excess) होता हो, अथवा जहाँ पर अल्पतम आरम्भण धारा की अपेक्षा, मित-व्ययिता अधिक महत्वपूर्ण हो, वहाँ पर लाइन में रोधक लगाकर भी आरम्भण किया जाता है जैसा पहले समझाया जा चुका है। धक्क वटन नियंत्रण की अवस्था में, दो चुम्बकीय-प्रवर्तित-संस्पर्शकों (Magnetically Operated Contactors) की आवश्यकता होती है। रोधक अंशकों को लघुपरिपथित करने वाला स्विच एक कालक (Timer) द्वारा विलंबित (Delayed) किया जाता है; जो प्रवर्तन से पहले मोटर को वेग पकड़ने का अनुमनन करता है। दूरस्थ—नियंत्रित आरम्भकों (Remote Controlled Starters) में भी, जिनमें आत्मग परिवर्तित्र प्रयुक्त होते हैं, दो चुम्बकीय संस्पर्शक होते हैं। इन संस्पर्शकों में भी काल-विलम्ब (Time Delay) का प्रावधान होता है। रोधक तथा आत्मग परिवर्तित्र दोनों ही प्रकार के आरम्भकों में तापीय अतिभार रिले (Thermal Overload Relays) का प्रावधान होता है। अल्प वोल्टता उन्मोक (Low Voltage Release) भी लगे होते हैं।

वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटरों के नियंत्रकों का प्ररचन, विशेष आवश्यकताओं को ध्यान में रखकर किया जाता है। आदेश करने से पहले एक या अधिक निर्माण कम्पनियों के इंजीनियरों से इसके विषय में पर्यालोचन कर लेना चाहिये।

चित्र 12-15 : **मोटर तथा संरक्षण युक्तियों के प्रारूपिक लक्षण**

अभ्यास 12-12 : एक बड़ी निर्माण योजना पर, एक पट्टी-वाहक (Belt Conveyor) को चलाने के लिये, जो धावन संयन्त्र (Washing Plant) से गिट्टी (Gravel) को कंक्रीट मिश्रण संयन्त्र तक ले जाती है, एक मोटर की आवश्यकता है। शक्ति प्रभव 440 वोल्ट, त्रिफ़ेज़ है। आरम्भण धारा 100 अम्प० तक ही सीमित रहनी है। सामान्य भार को, 1750 प० प्र० मि० पर 50 पाउंड फ़ीट की विभ्रमिषा की आवश्यकता है। आरम्भण विभ्रमिषा 100 lb f_t तक हो सकती है। निर्माताओं के सूचीपत्र से, उपर्युक्त आवश्यकताओं

की पूर्ति करने के लिये, सही मोटर तथा आरम्भण सज्जा का निर्वाचन कीजिये।

अभ्यास 12-13 : किसी रासायनिक संयन्त्र में, एक केन्द्रापग पम्प से, 50 पाउंड गेज के दबाव के विरुद्ध, 50000 गैलेन प्रति घण्टा एक विस्फोटक आसुव (Explosive Distillate) प्रदाय करना है। पूर्णभार पर पम्प की दक्षता 55% है। 400 V त्रिफ़ेज़ के शक्ति प्रभव के लिये, मोटर तथा आरम्भण सज्जा का चुनाव कीजिये। आरम्भण धारा की कोई स्वेच्छ सीमा नहीं निर्धारित की गई है।

अभ्यास 12-14 : एक लाइन ईषा (Line Shaft) को 10 *HP.*, 1750 प० प्र० मि०, 400 वोल्ट त्रिफ़ेज़ मोटर द्वारा चलाना है। यह मोटर एक लम्बी लाइन के अंत पर स्थित है, जिसके प्रभव वाले सिरे की बोल्टता 420 बोल्ट है तथा जिसमें क्षत्रित भार पर 20 वो० का वोल्टता पात हो जाता है। भारुओं और तेल के ठंढ़े हो जाने पर, आशा की जाती है, कि ईषा द्वारा अपेक्षित आरम्भण विभ्रमिषा, क्षमित विभ्रमिषा की 125 प्रतिशत होगी। किस प्ररूप की मोटर प्रयुक्त होनी चाहिये और क्यों?

अभ्यास 12-15 : एक पट्टी-वाहक के लिये एक विचरणशील वेग के चालक की आवश्यकता है। इसके लिये एक स्थिर विभ्रमिषा अपेक्षित है, जो पूर्णभार विभ्रमिषा की 0·9 गुना हो। इसे 25 *HP.*, 1750 प० प्र० मि० की वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटर द्वारा चलाया जाता है, जिसकी पूर्णभार दक्षता, क्षमित वेग पर 88 प्रतिशत है।

(अ) 1200 प० प्र० मि० पर प्रवर्तन करते हुए मोटर तथा नियंत्रक दोनों की मिली हुई दक्षता क्या होगी?

(ब) 1750 प० प्र० मि० की अपेक्षा 1200 प० प्र० मि० पर आदा शक्ति कितनी होगी?

(स) आरम्भण के समय, भ्रमिता परिपथ में इतना रोध लगाया जाता है कि केवल भार को चलाने भर के लिये ही पर्याप्त विभ्रमिषा उत्पन्न होती है (पूर्ण भार की 0·9)। पूर्णभार धारा के प्रतिशत में आरम्भण धारा निकालिये।

एकीफेज प्ररोचन मोटर (Single Phase Induction Motor)

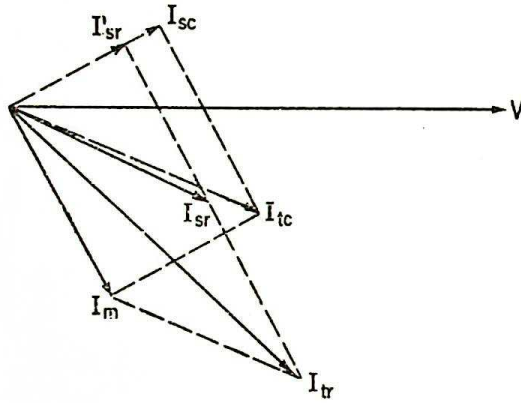
अधिकांश निवास स्थानों में तथा अल्प मात्रा में शक्ति उपयोग करने वाले अधिष्ठापनों में, त्रिफ़ेज़ शक्ति के लिये एक अतिरिक्त तार ले जाना मितव्ययी नहीं होता। ग्रामीण क्षेत्रों के लिये यह विशेषकर सत्य है, जहाँ एकीफ़ेज़ लाइनें अपवाद नहीं वरन् नियम हैं। इस प्रकार ऐसे बहुत से स्थान होते हैं, जहाँ छोटी मोटरों की आवश्यकता होती है, और केवल एकीफ़ेज़ शक्ति उपलब्ध होती है। इन प्रयोजनों के लिये एकीफ़ेज़ प्ररोचन मोटरें विस्तृत रूप से प्रयोग

होती है। $\frac{1}{3}$ से $\frac{1}{8}$ *HP*. तक की मोटरें घरेलू कामों के लिये सर्वाधिक लोकप्रिय हैं। घरों में ये धावन मशीनों (Washing Machines) तथा प्रशीतकों (Refrigerators) को चलाती हैं; और उद्योगों में शाणों, पेचकसों, ड्रिलों तथा छोटे कर्षकों जैसे उपकरणों को चलाती है। कृषि अधिष्ठापनों में, इन मोटरों का आकार $7\frac{1}{2}$ अश्व शक्ति तक का होता है और 3 से 5 अ० श० की मोटरें सामान्य हैं।

एकीफ़ेज़ परिपथ से प्रदत्त शक्ति अनवरत् (Cotinuous) नहीं होती वरन् स्पन्दनशील (Pulsating) होती है। इसी प्रकार, एकीफ़ेज़ वर्तन द्वारा उत्पन्न स्यंद, परिमाण में स्थिर और स्थाता के चारों ओर परिभ्रामी होने की अपेक्षा, स्थिति में स्थिर और परिमाण में प्रत्यावर्ती होती है। मोटर के आरम्भण के लिये परिभ्रमणशील स्यंद आवश्यक है। इसे प्राप्त करने के लिये, मोटर स्थाता पर, मुख्य वर्तन से वरिमा चतुष्क (Space Quadrature) में एक अन्य वर्तन स्थापित किया जाता है। अर्थात् इस वर्तन का अक्ष, मुख्य वर्तन के अक्ष से एक चौथाई फ़ेज़ विस्थापित होता है। यह आवश्यक है, कि इस वर्तन में प्रवाहित धारा, मुख्य वर्तन की धारा से, काल प्रावस्था में भिन्न हो। इस अवस्था में, दोनों वर्तनों द्वारा उत्पन्न परिणामी स्यंद, मोटर परिणाह के चारों ओर उत्तरोत्तर स्थितियों में अधिकतम होती जायगी। इस भाँति परिभ्रामी स्यंद उत्पन्न होती है यद्यपि यह, सामान्यतः, परिमाण में एकसम नहीं होती।

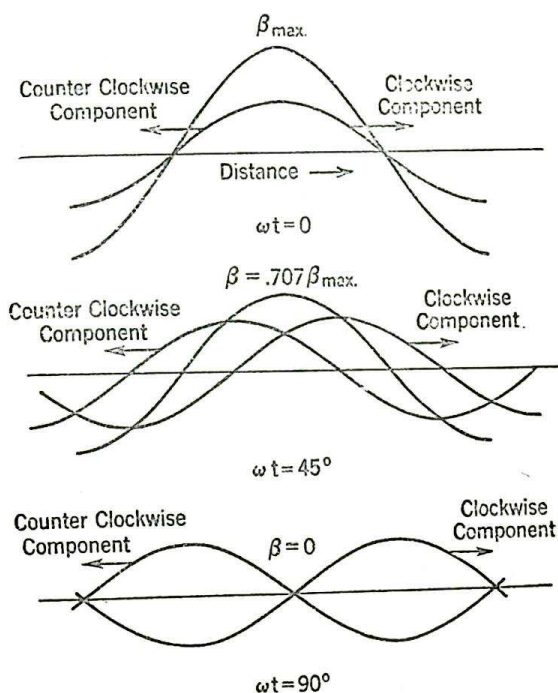
दूसरे वर्तन को बहुधा **आरम्भण वर्तन** भी कहते हैं। यदि इसमें प्रवाहित धारा को मुख्य वर्तन की धारा से काल प्रावस्था में 90° अग्रित किया जा सके (माला में एक धारित्र युजित करके); तथा इस धारा का परिणाम इतना हो सके कि इसके द्वारा उत्पन्न अम्पीयर वर्त, मुख्य वर्तन के अम्पीयर वर्तों के बराबर हों तो एक सम परिभ्रामी क्षेत्र उत्पन्न होगा। किन्तु यदि यह आदर्श स्थिति न प्राप्त हो सके, तो क्षेत्र को दो भागों द्वारा संघटित माना जा सकता है: एक भाग परिभ्रामी क्षेत्र तथा दूसरा प्रत्यावर्ती परिमाण का स्थावर क्षेत्र। आरम्भण विभ्रमिषा, इस क्षेत्र के केवल परिभ्रामी संघटक के समानुपात में ही होती है। यदि चतुष्क चुम्बक गामक बल न हो, तो आरम्भण विभ्रिमषा प्राप्त करना संभव न होगा और मोटर आरम्भण न करेगी।

रोध अथवा विपाटित (Split Phase) प्ररूप के आरम्भण वर्तन (चतुष्क क्षेत्र वाले) में एक सूक्ष्म तार प्रयोग किया जाता है, जिससे इसका रोध अधिक हो जाता है, और इसमें धारा, वोल्टता से इतनी अधिक अनुगामी नहीं रहती, जितनी कि मुख्य वर्तन में। यह, चित्र 12-16 में दिखाया गया है, जिसमें I_m मुख्य वर्तन की धारा है, और I_{sr} आरम्भण वर्तन में, जिसमें शक्ति खंड अन्तर प्राप्त करने के लिये एक रोधक लगाया गया है। I_{sr} का वह संघटक जो आरम्भण विभ्रामिषा उत्पन्न करने में प्रभावी है, I_m से काल प्रावस्था में चतुष्क में है। यह रेखाचित्र में I'_{sr} द्वारा दिखाया गया है। कुल धारा दोनों धाराओं

के दिष्ट योग के बराबर है और अकेले मख्य फ़ेज़ की अवरोधित भ्रमिता धारा (Blocked Rotor Current) से लगभग दुगनी होगी। यह रेखाचित्र में I_{tr} से दिखाया गया है।

चित्र 12-16 : **आरम्भण के समय, एकीफ़ेज़ प्ररोचन मोटर का धारा रेखाचित्र**

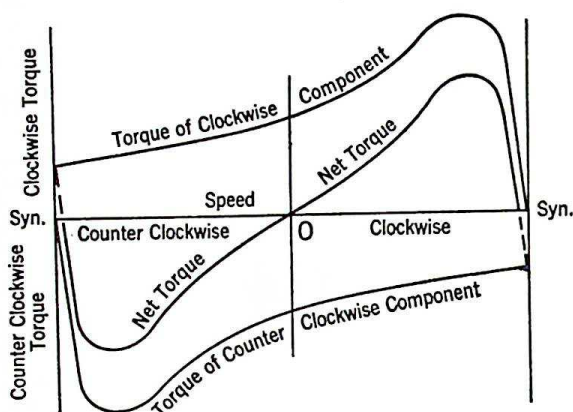
अधिकांश आधुनिक मोटरों में, आरम्भण वर्तन के साथ, माला में एक धारित्र लगाना अधिक लाभप्रद पाया गया है। इसके कारण इस वर्तन में धारा, वोल्टता से अग्रित हो जाती है और मुख्य वर्तन की धारा से काल प्रावस्था में लगभग चतुष्क में रहती है। यह चतुष्क धारा चित्र 12-16 में I_{sc} द्वारा दिखाई गई है। यह अवलोकित होता है, कि इसका चतुष्क संघटक साधारण विपाटित फ़ेज़ प्ररूप के संघटक से लगभग 50 प्रतिशत अधिक होता है। इसलिये आरम्भण विभ्रमिषा भी लगभग 50 प्रतिशत अधिक होती है। रोध अथवा विपाटित फ़ेज़ वर्तन की अपेक्षा, इसमें आरम्भण धारा भी काफ़ी कम होती है। आरम्भण वर्तन में धारित्र वाले मोटरों को **धारित्र आरम्भण मोटर** (Capacitor-Start Motor) कहते हैं। इनका आरम्भण निष्पादन, बहुत संतोषप्रद होने के कारण, ये मोटरें, एकीफ़ेज़ मोटरों में सबसे अधिक लोकप्रिय हो गई हैं। साधारणतया, आरम्भण वर्तन की धारा-वाहन-धारिता, अनवरत प्रवर्तन के लिये काफ़ी नहीं होती। इसलिये जब मोटर अपने क्षमित वेग के $\frac{2}{3}$ पर पहुँच जाती है, तो यह स्वयमेव ही, एक केन्द्रापग स्विच द्वारा, वियुजित कर दी जाती है।

केवल मुख्य वर्तन पर ही मोटर का प्रवर्तन : केवल मुख्य वर्तन के ही युजित होने पर, एकी फ़ेज़ मोटर के प्रवर्तन का सरलतापूर्वक मनसेक्षण, एकीफ़ेज़ वर्तन के चुम्बक गामक बल को दो संघटकों में विभाजित करके किया जा सकता है। यह चु० गा० ब० परिमाण में धनात्मक से अधिकतम ऋणात्मक मान के बीच विचरण करता है। सभी अवस्थाओं में इन दोनों संघटकों का योग मौलिक चु० गा० ब० के बराबर होना चाहिये। यह, चु० गा० ब० की दो ज्यावर्ती तरंगों से प्राप्त होता है; जिनमें से प्रत्येक का परिमाण मौलिक तरंग के अधिकतम

मान का आधा है, और स्थिर है, परन्तु जो धात्र के परिणाह के चारों ओर समक्रमिक गति से चलती है।

चित्र 12-17 : एक स्थावर स्यंद तरंग को, जिसका परिमाण कालानुसार ज्यावर्ती रूप में विचरण करता है, दो संघटकों द्वारा स्थानापन्न किया जाता है; जो परिमाण में स्थिर, परन्तु मोटर के परिणाह के चारों ओर परिभ्रमणशील हैं।

चित्र 12-17 में मौलिक स्पन्दन तरंग तथा तीन उत्तरोत्तर क्षणों में दोनों संघटक दिखाये गये हैं जो काल प्रावस्था में 45° विलगित हैं। इनमें पहला, स्यंद घनत्व के अधिकतम होने की स्थिति को निरूपित करता है। दूसरे में एक संघटक 45° बाँई ओर को और दूसरा 45° दाँई ओर को चल चुका है। इनके योग से एक स्थावर तरंग उत्पन्न होती है, जिसका परिमाण उसके अधिकतम मान का 0·707 होता है। अगली स्थिति में, वह दशा दिखाई गई है जिसमें संघटक अपनी अपनी दिशाओं में 90° चल चुके हैं। इस स्थिति में इनका परिणामी चु० गा० ब० शून्य है; जैसा कि होना भी चाहिये, क्योंकि अधिकतम मान के क्षण के 90° बाद मौलिक चु० गा० ब० शून्य के बराबर होता है।

परिभ्रामी स्यंद तरंगों के दोनों ही संघटक भ्रमिता पर एक दूसरे से स्वतंत्र रूप से कार्य करते हुए समझे जा सकते हैं। चित्र 12-18 में, घटीवर्ती विभ्रमिषा को घटीवर्ती दिशा की समक्रमिक वेग से शून्य तक अंकित किया गया है, और फिर शून्य से लेकर ऋणात्मक दिशा में, समक्रमिक गति तक अंकित किया गया है।

स्यंद परिभ्रमण की दिशा के विरुद्ध दिशा में परिभ्रमण के लिये, विभ्रमिषा कम होती है ; क्योंकि भ्रमिता वारंवारता के समक्रमिक वारंवारता से अधिक होने पर भ्रमिता प्रतिकारिता का मान बढ़ जाता है, और शक्ति खंड कम हो जाता है।

चित्र 12-18 : **एकीफ़ेज़ प्ररोचन मोटर के वेग विभ्रमिषा वक्र**

स्यंद के प्रतिघटी दिशा वाले स्यंद के परिणाम-स्वरूप उत्पन्न विभ्रमिषा को भी अंकित किया गया है। शुद्ध (Net) अथवा परिणामी विभ्रमिषा विरुद्ध दिशाओं में, इन दोनों विभ्रमिषाओं के योग के बराबर होती है और चित्र 12-18 में अंकित की गई है। यह देखा जाता है, कि शून्य वेग पर, शुद्ध विभ्रमिषा शून्य है। इसलिये आरम्भण विभ्रमिषा भी शून्य है। यह पूर्व परिणामों की पुष्टि करता है। तथापि यदि भ्रमिता को किसी भी दिशा में घुमा दिया जाय तो, इस पर एक शुद्ध विभ्रमिषा विकसित हो जाती है, जो परिभ्रमण को उसी दिशा में बनाये रखने की चेष्टा करती है। इस प्रकार, क्षमित वेग के लगभग $\frac{2}{3}$ वेग पर, आरम्भ वर्तन के वियुजित होने के पश्चात भी पर्याप्त विभ्रमिषा उपलब्ध होती है जिससे सामान्य प्रवर्तन वेग के पहुँचने तक त्वरण बना रहता है।

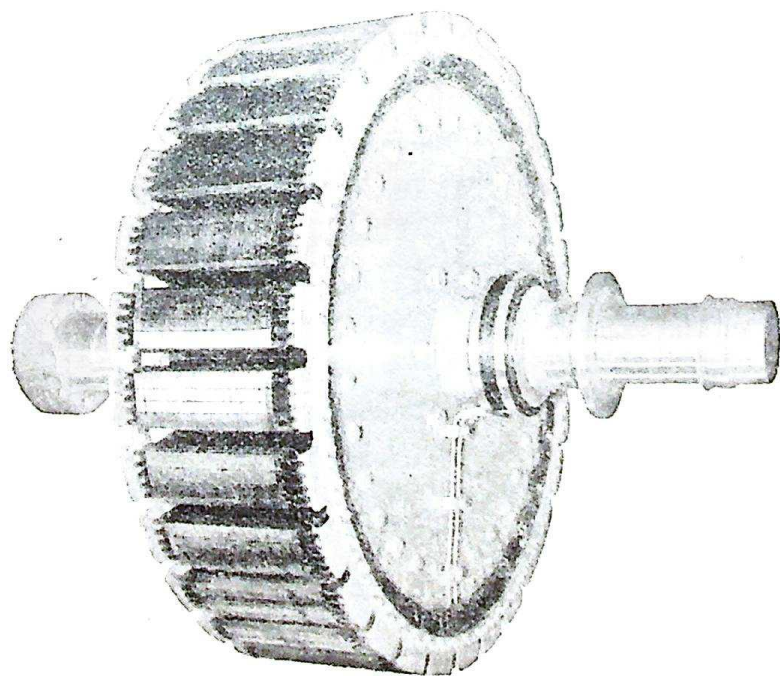
कुछ बड़ी एकीफ़ेज़ मोटरों में, जिनमें उच्चतर शक्ति खंड तथा श्रेष्ठ एवं शान्त प्रवर्तन अपेक्षित होता है; धारित्र तथा वर्तन, पर्याप्त धारा-वाहन-धारिता के बनाये जाते हैं, जिससे वे अनवरत प्रवर्तन कर सकें। ऐसी मोटरें धारित्र आरम्भण मोटरों की अपेक्षा कुछ अधिक मँहगी होती हैं, किन्तु पंखों और दूसरी प्रयुक्तियों के लिये प्रयोग में लाई जाती हैं, जिनमें अल्प आरम्भण विभ्रमिषा ही पर्याप्त होती है।

एक दूसरे प्रकार की एकीफ़ेज़ मोटर, जिसे **प्र० धा० माला मोटर** (A. C. Series Motor) कहते हैं, संक्षेप में वर्णित की जायगी। अ० धा० मोटरों का पर्यालोचन करते समय, माला मोटर पर भी विचार किया गया था। यह अवलोकित होगा, कि, यदि क्षेत्र तथा धात्र धारायें दोनों ही, एक साथ उत्क्रमित कर दी जाँए, तो विभ्रमिषा उसी दिशा में बनी रहती है। इस प्रकार माला

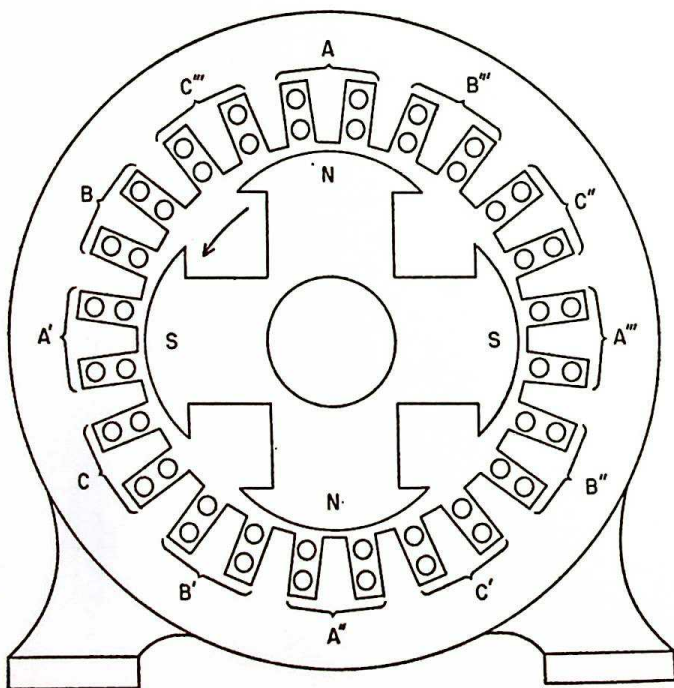
मोटर, प्रत्यावर्ती धारा पर भी प्रवर्तन कर सकती है, यदि इसकी प्ररचना ऐसी हो, कि हानियाँ तथा प्ररोचि प्रभाव घटाकर अल्पतम कर दिये जाँय। इस प्रकार की छोटे आकार की मोटरें, अ० धा० और प्र० धा० दोनों पर ही प्रवर्तन कर सकती हैं और सार्वत्रिक मोटरें कहलाती हैं। इस प्ररूप की बड़े आकार की मोटरें विद्युत रेलों में बहुधा प्रयुक्त होती हैं।

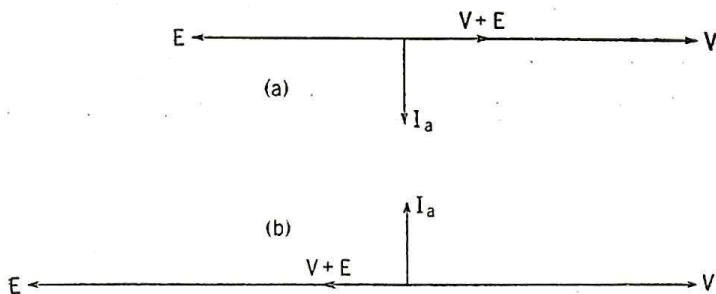
मूलत : आरम्भण के लिये प्रयोग की जानेवाली, एक प्ररूप के प्ररोचन मोटर में व्यत्ययक भी होता है और यह, वस्तुतः माला मोटर ही होती है। इसे प्रतिकर्षण मोटर कहते हैं। परन्तु आजकल इनका उपयोग कम होता जा रहा है, और इनका स्थान धारित्र मोटरें लेती जा रही हैं। इसलिये इनका पर्यालोचन विस्तार में नहीं किया जायगा।

समक्रमिक मोटरें (Synchronous Motors)

यदि समक्रमिक जनित्र के भ्रमिता के ध्रुव मुखों में एक पन्जर वर्तन रख दिया जाय, जो सिरों पर अन्तवलयों द्वारा युजित संवाहक दण्डों द्वारा बना हो, तब एक सामान्य प्रकार की समक्रमिक मोटर प्राप्त हो जायगी। यह चित्र 12-19 में दिखाई गई है। इसे एक प्ररोचन मोटर के रूप में ही आरम्भ किया जाता है जिसमें ध्रुव-मुख वर्तन (Pole Face Windings), पन्जर मोटर के भ्रमिता की तरह कार्य करते हैं। जब यह प्ररोचन मोटर की भाँति कार्य करती हुई, सामान्य

चित्र 12-19 : मन्द वेग के बड़े समक्रमिक मोटर का भ्रमिता

प्रवर्तन वेग पर पहुँच जाती है, तब, सर्पण काफ़ी कम होता है। उस समय, भ्रमिता ध्रुवों के लिये चु० गा० ब० का प्रावधान करने वाला ग्र० धा० परिपथ पूर्ण कर दिया जाता है; ग्रौर भ्रमिता के उत्तरी तथा दक्षिणी ध्रुव, स्थाता के विपरीत ध्रुवों के साथ बँध जाते हैं; तथा भ्रमिता समक्रमिक वेग से परिभ्रमण करने लगता है।

धात्र में चुम्बकन धारा : समक्रमिक मोटर के स्थाता संवाहकों में वोल्टता जनन उसी प्रकार होता है, जिस प्रकार उतनी ही ध्रुव संख्या ग्रौर वेग के ग्रावर्तित्र में। मान लीजिये कि मोटर कोई भार नहीं प्रदाय कर रही ग्रौर ग्र० धा० प्रदीपन धारा इतना चु० गा० ब० नहीं उत्पन्न कर पाती, कि इसके कारण जनित वोल्टता (स्थाता संवाहकों में), ग्रारोपित वोल्टता के बरावर ग्रौर विपरीत हो सके। परिपथों ग्रौर प्ररोचन मोटरों के ग्रध्ययन से यह ज्ञात हुग्रा था, कि, ग्रान्तरिक जनित वोल्टता, रोध पात को छोड़ कर (जो कि ग्रति ग्रल्प होता है), ग्रारोपित वोल्टता के ग्रवश्यतः बरावर होना चाहिये। इसलिये स्थाता में काफ़ी धारा का प्रवाह ग्रावश्यक है, जिससे कि ग्र० धा० क्षेत्र वर्तन तथा धात्र वर्तन दोनों का चु० गा० ब० मिलकर इतना वायु विच्छद्र स्यंद उत्पन्न कर सकें जो कि धात्र (ग्रथवा स्थाता) संवाहकों में ग्रारोपित वोल्टता के विरोधी ग्रौर विपरीत वोल्टता जनित कर सकें। इसके लिये यह ग्रावश्यक है, कि स्थाता का धात्र चु० गा० ब०, ग्र० धा० चु० गा० ब० की सहायता करें।

चित्र 12-20 : वर्तन धारा ग्रौर चु० गा० ब० के विश्लेषण का सरल रेखाचित्र

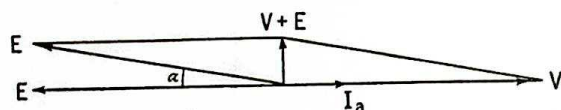
इसलिये संवाहक समूह B''', C'', B' और C में धारा काग़ज़ के अन्दर की ओर; तथा C''', B, C' और B'' में बाहर की ओर को बहेगी।

चित्र 12-21 : समक्रमिक मोटर का दिष्ट रेखाचित्र--शून्य भार

ग्यारहवें अध्याय में यह दिखाया गया था, कि फ़ेज़ A में वोल्टता काग़ज़ के बाहर की ओर को होगी और इसीलिये आरोपित वोल्टता इस दिशा के विपरीत होगी। विश्लेषण करने पर यह ज्ञात होगा, कि स्थाता में धारायें आरोपित वोल्टता से काल प्रावस्था में 90° अनुगामी होंगीं जो कि प्ररोचित परिपथ के लिये सत्य होता है। चित्र 12-21 (a) में इसका एक फ़ेज़र रेखा-चित्र दिखाया गया है। यह अवलोकित होगा कि वोल्टता E, जो केवल अ० धा० प्रदीपन के स्यंद से उत्पन्न होती है; अकेली, आरोपित वोल्टता V का निष्फलन करने के लिये पर्याप्त नहीं होती। इस प्रकार एक परिणामी वोल्टता $V+E$ रहती है, जो धात्र धारा को प्रवाहित कराती है। यह धात्र धारा, इससे काल प्रावस्था में 90° अनुगामी होती है।

यदि अब अ० धा० प्रदीपन धारा को बढ़ाया जाय, तो E का परिमाण भी बढ़ जायेगा। यहाँ तक कि यह V से बड़ी हो जायगी और $V+E$ की दिशा उल्टी हो जायगी, जैसा चित्र 12-21 (b) में दिखाया गया है। धात्र धारा, फिर, शुद्ध वोल्टता से काल प्रावस्था में 90° अनुगामी होगी। इसका तात्पर्य है कि यह चित्र 12-21 (a) में दिखाई गई धारा के विपरीत होगी। चित्र 12-20 का फिर से उल्लेख करने पर यह पाया जाता है, कि धारा के इस उत्क्रमण का तात्पर्य यह है, कि धात्र चु० गा० ब० अब अ० धा० प्रदीपन चु० गा० ब० का विरोध करेगा। दूसरे शब्दों में वायु विच्छद स्यंद, अवश्यत:, स्थिर रहता है, और अ० धा० प्रदीपन धारा पर निर्भर नहीं करता। यह प्राप्त करने के लिये, धात्र धारा या तो अ० धा० प्रदीपन की सहायता करती है अथवा विरोध करती है।*

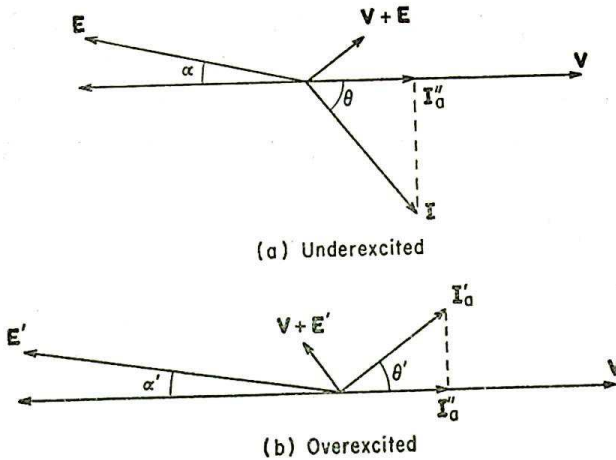
---

* यह याद रखना चाहिये कि स्थाता वर्तन लोहे से घिरे हुये खाँचों में स्थित होते हैं। इस कारण स्थाता वर्तनों द्वारा बड़े परिमाण में उत्पन्न स्यंद ऐसी होती है, जो वायु विच्छद को पार नहीं करती। इस कारण वायु विच्छद स्यंद विचरण तो करती है, परन्तु इस उपसादन (Approximation) से मोटर लक्षण के ऊपर प्रभाव अधिक नहीं बदलता।

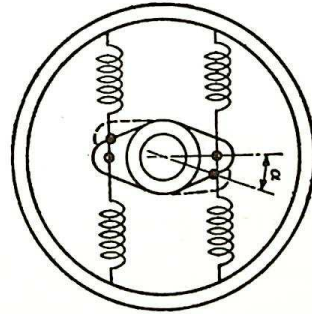
धात्र में भार धारा (Load Current in the Armature) : उपर्युक्त पर्यालोचन में भार की विमन्दन विभ्रमिषा को शून्य मान लिया गया है। यदि अब प्रदीपन वोल्टता, आरोपित वोल्टता के बराबर हो और मोटर के ऊपर एक भार लगा दिया जाय, तो यह विमन्दित होने लगेगी और विरोधी वोल्टता अपनी मूल स्थिति से पीछे हो जायगी ; जैसा चित्र 12-22 में

चित्र 12-22 : **समक्रमिक मोटर का फेज़र रेखाचित्र-भारित अवस्था में**

दिखाया गया है। परिणामी वोल्टता, आरोपित एवं विरोधी वोल्टताओं के दिष्ट योग के बराबर होगी। इसके कारण परिणामी वोल्टता, आरोपित वोल्टता से 90° अग्रित होगी। परिणामस्वरूप एक धारा प्रवाहित होती है जो आरोपित वोल्टता से प्रावस्था में होती है। इस धारा का परिमाण उस कोण पर निर्भर करता है, जिससे कि भ्रमिता अपने फ़ेज़ विरोध की स्थिति से पीछे रह जाता है। जब यह पर्याप्त मात्रा में पीछे रह जाता है, जिससे कि स्थाता में बहनेवाली धारा, भार का अधिभवन करने के लिये पर्याप्त विभ्रमिषा उत्पन्न कर लेती है, तब विमन्दन की प्रवृत्ति समाप्त हो जाती है, और भ्रमिता समक्रमिक वेग से परिभ्रमण करने लगता है। लाइन से ली गई शक्ति, केवल उतनी ही होती है, जो कि भार की विमन्दन विभ्रमिषा का अभिभवन कर सके, और मोटर में होने वाली हानियों को प्रदाय कर सके। इस प्रकार समक्रमिक मोटर अपने भ्रमिता की कोणिक स्थिति का विचरण करके, विचरणशील भार विभ्रमिषा के लिये अपने आप को व्यवस्थापित कर लेती है।

चित्र 12-22 में प्रदीपन वोल्टता, आरोपित वोल्टता के बराबर मान ली गई थी। इस प्रकार जो धात्र धारा प्राप्त होती थी वह आरोपित वोल्टता से प्रावस्था में थी और किसी निर्दिष्ट शक्ति प्रदा के लिये न्यूनतम थी। जब मोटर अल्प प्रदीपित हो, जैसा चित्र 12-23 (a) में दिखाया गया है; तब धात्र धारा को केवल भार विभ्रमिषा का ही प्रावधान नहीं करना होता, वरन् उपयुक्त वायु विच्छद स्पंद प्राप्त करने के लिये अतिरिक्त चु० गा० ब० का प्रदाय करना भी आवश्यक होता है। यह देखा जाता है, कि धारा आरोपित वोल्टता से शक्ति खंड कोण θ द्वारा अनुगामी है।

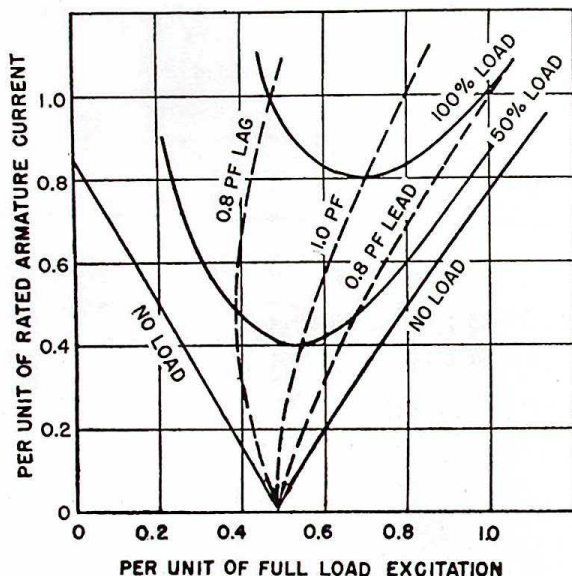
जब मोटर अति प्रदीपित (Over Excited) हो, जैसा चित्र 12-23 (b) में दिखाया गया है, तब धात्र धारा I''_a का शक्ति संघटक तो अवश्यत: स्थिर रहता है, परन्तु फ़ेज़र $V+E'$ आगे की ओर झूला जाता है ; जिससे धारा I'_a, जो उससे 90° अनुगामी रहती है, अब आरोपित वोल्टता से शक्ति खंड कोण θ' द्वारा

चित्र 12-23 : भारित समक्रमिक मोटर के फ़ेज़र रेखाचित्र
(a) अल्प प्रदीपित (b) अति प्रदीपित

अग्रित हो जाती है। अनुगामी शक्ति खंड पर प्रवर्तन करने में समक्रमिक मोटर का कोई वाणिज्यिक महत्व नहीं होता, क्योंकि इसमें कोई लाभ नहीं हैं। तथापि इसके द्वारा अग्रित शक्ति खंड पर, औद्योगिक क्षेत्र में प्रारोचन मोटरों के अनुगामी शक्ति खंड को सुधारना संभव है।

समक्रमिक मोटर की क्रिया, तनी हुई कुंडलित कमानियों (Coiled Springs) से जुड़े हुए एक युग्मक (Coupling) की क्रिया के अनुरूप है। यह चित्र 12-24 में दिखाया गया है। जब युग्मक के ऊपर कोई भार नहीं होता को कमानियों के तनाव संतुलित होते हैं। चालित ईषा (Driven Shaft) के ऊपर भार लगा देने पर यह पीछे की ओर हट जाता है। छोटे कोणों के लिये चालक विभ्रमिषा, कोणिक हटाव के अनुपात में होती है। यह क्रिया, समक्रमिक मोटर में स्थाता तथा भ्रमिता ध्रुवों के बीच विस्थापन के अनुरूप होती है।

चित्र 12-24 : कमानीदार युग्मक (Spring Coupling)

समक्रमिक मोटर के निष्पादन के परीक्षण की सामान्य विधि, शून्य, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ और पूर्ण क्षमित भार पर क्षेत्रधारा के साथ-साथ धात्र धारा के विचरण का अभिलेख करने की है। उनकी आकृति के कारण ऐसे वक्रों के सेट (Set) को V वक्र कहते हैं। एक प्रारूपिक मोटर के V–वक्र, चित्र 12-25 में दिखाये गये हैं।

इन वक्रों से यह अवलोकित होगा, कि यदि समक्रमिक मोटर को शक्ति खंड सुधार का प्रावधान करना हो, तो उसे अति प्रदीपन के प्रदेश में प्रवर्तन करना होगा।

इसके लिये यह आवश्यक है, कि 0·8 अग्रित शक्ति खंड पर इकाई शक्ति खंड की अपेक्षा धात्र में 25% अधिक धारा प्रवाहित होगी, और क्षेत्र वर्तन को 50 से 90 प्रतिशत तक अधिक धारा वहन करनी होगी। यदि मोटर को इन दशाओं में अनवरत प्रवर्तन करना हो, तो इकाई शक्ति खंड पर प्रवर्तन की अपेक्षा, वर्तनों

चित्र 12-25 : **80% शक्ति खंड पर प्रवर्तन करते हुए, एक समक्रमिक मोटर के प्रारूपिक *V* वक्र**

में काफ़ी अधिक ताँबे की आवश्यकता होगी। जब समक्रमिक मोटर का प्रवर्तन, शक्ति खंड सुधार के लिये अपेक्षित हो, तो सामान्यत: ऐसी मोटर ली जाती है जो 0·8 अग्रित शक्ति खंड पर प्रवर्तन के लिये बनाई गई हो। जब शक्ति खंड सुधार की आवश्यकता नहीं होती, तो कम मूल्य वाली इकाई शक्ति खंड मोटर ली जा सकती है ; यदि उसकी आरम्भण विभ्रमिषा पर्याप्त हो।

समक्रमिक मोटर के लाभ और उपयोग : प्ररोचन मोटरों के कम शक्ति खंड का उल्लेख किया जा चुका है। कम और अनुगामी शक्ति खंडों पर, विद्युत कम्पनियों को अपनी जनन (Generation), पारेषण (Transmission) एवं विभाजन (Distribution) सज्जाओं के लिये, अतिरिक्त धारा वाहन धारिता की आवश्यकता होती है। इसलिये वे बहुधा कम और अनुगामी शक्ति खंडों पर एक अतिरिक्त कर लगा देती हैं, या शक्ति खंड के ऊँचे अथवा अग्रित होने पर बोनस देती हैं। इन दशाओं में यह संभव है, कि कुछ मशीनों को समक्रमिक मोटर द्वारा चलाया जाय और क्षेत्र को अति प्रदीपित करके (जिससे वह अग्रित धारा ले सके), प्ररोचन मोटरों द्वारा ली गई अनुगामी धारा का किसी सीमा तक निष्फलन किया जा सके।

छोटे आकारों के समक्रमिक मोटर तथा उसके आरम्भक उसी अश्व शक्ति की प्ररोचन मोटर की अपेक्षा कुछ अधिक मँहगे होते हैं। इसलिये 100 अ. श. अथवा उससे अधिक की क्षमताओं को छोड़कर, समक्रमिक मोटरों का शक्ति खंड सुधार के लिये प्रयोग करना शायद ही मितव्ययी होता है।

जहाँ पर विल्कुल स्थिर वेग अपेक्षित हो, वहाँ किसी भी अकार की समक्रमिक मोटर प्रयोग की जा सकती है। ये, नियंत्रण युक्तियों के अंशकों के रूप में काफ़ी व्यवहार की जाती हैं। घड़ियों को चलाने के लिये, छोटे छोटी, समक्रमिक मोटरें, बिना अ० धा० क्षेत्र के ही प्रवर्तन करती हैं और विभ्रमिषा उत्पन्न करने के लिये, भ्रमिता इस्पात के मन्दायन अथवा भ्रमिता ध्रुवों के पास स्यंद समूहन (Bunching of Flux) पर ही निर्भर करती हैं। आधुनिक विद्युत समक्रमिक घड़ियाँ परिशुद्ध होती हैं; क्योंकि वारंवारता, बिजली घर (Power House) पर ही ठीक नियंत्रित की जाती रहती है। थोड़ा विचलन भी प्रमाणिक घड़ी से तुलना करने पर ज्ञात हो सकता है और सुधारा जा सकता है। ये घड़ियाँ, सामान्यतः, ठीक समय से कुछ सेकंडो से अधिक विचरण नहीं करतीं।

तेरहवाँ अध्याय

विद्युत् मोटर प्रयुक्तियाँ

(ELECTRIC MOTOR APPLICATIONS)

औद्योगिक मशीनों के लक्षण

औद्योगिक मशीनों को चलाने के लिये, मोटरों तथा उनकी नियंत्रण सज्जाओं का चयन, औद्योगिक सज्जा की वेग, विभ्रमिषा और नियंत्रण आवश्यकताओं का, मोटर और नियंत्रण लक्षणों के साथ ठीक-ठीक मिलने पर निर्भर करता है। यह विषय उतना ही बड़ा है, जितना सम्पूर्ण औद्योगिक विकास। इसलिये कुछ प्रारूपिक प्रयुक्तियों का तथा प्रयोग में आने वाली चालक एवं नियंत्रक युक्तियों का अध्ययन करना और उनसे मोटर तथा नियंत्रण सज्जाओं के चयन करने की कुछ सामान्य विधियों का सीखना आवश्यक है।

साधारणतया विद्यार्थियों को, प्रारूपिक औद्योगिक मशीनों के लक्षणों की कुछ निश्चित जानकारी नहीं होती। इसलिये इस अध्याय में पहले ऐसी जानकारी प्रस्तुत की जायेगी जो बाद में विशिष्ठ समस्यायों के लिये आधार रूप में प्रयोग की जा सकेगी।

पम्प : पम्प, औद्योगिक मशीनों में सबसे सामान्य मशीनों से में एक है। अधिकांश औद्योगिक पम्प, केन्द्रापग (Centrifugal) प्ररूप के होते हैं। इनमें ईषा पर एक इम्पेलर (Impeller) होता है जो एक केसिंग (Casing) के भीतर परिभ्रमण करता है। इसकी प्ररचना द्रव के प्रवाह को नियंत्रित करने के लिये की जाती है। साधारणतया, केन्द्रापग पम्प काफ़ी उच्च वेग पर प्रवर्तन करते हैं। इसलिये, मोटर एक आनम्य युग्मक (Flexible Coupling) द्वारा सीधे ही युजित होते हैं। आरम्भण के समय अपेक्षित विभ्रमिषा केवल घर्षण विभ्रमिषा ही होती है। जैसे-जैसे वेग निर्मित होता जाता है, वैसे-वैसे विभ्रमिषा, वेग के वर्ग के अनुसार बढ़ती जाती है। परन्तु शक्ति, वेग के घन (Cube) के अनुसार निर्मित होती है।

इसके लिये, साधारणतया, सामान्य प्रयोग का पन्जर मोटर ही प्रयोग किया जाता है। ऐसा मोटर, स्थिर वेग प्रवर्तन के लिये लगभग आदर्श रूप है। अ० धा० पार्श्वायन मोटर भी प्रयोग किये जाते हैं (जहाँ पर अ० धा० शक्ति प्राप्य होती है)। बड़े पम्पों के लिये समक्रमिक मोटर भी प्रयोग किये जाते हैं, विशेषतया यदि शक्तिखंड सुधार भी अपेक्षित हो।

जहाँ पर पम्प के दबाव द्वारा प्रवाह का नियंत्रण करना अपेक्षित हो, वहाँ विचरणशील वेग मोटर की आवश्यकता हो सकती है। मध्यम नियंत्रण

(Intermediate Control) के लिये, प्ररोध वाल्व (Throttling Valve) के साथ, वहु वेग प्ररोचन मोटर भी प्रयोग किये जा सकते हैं। यदि निरंतर, विचरणशील वेग अपेक्षित हो, तो वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटर प्रयोग किये जा सकते हैं। यद्यपि यह मोटर, मूलतः, अल्प वेग पर दक्ष नहीं होता; परन्तु अपेक्षित पम्प शक्ति इतनी कम होती है कि इससे कोई अन्तर नहीं होता। यदि वेग को आधा कर दिया जाय, तो अपेक्षित पम्प शक्ति $\frac{1}{8}$ हो जाती है; और मोटर की 50 प्रतिशत (या इससे भी कम) की दक्षता महत्त्व की नहीं होती। इस काम के लिये यदि अ० धा० शक्ति उपलब्ध हो, तो व्यवस्थापित वेग अ० धा० मोटर प्रयोग किये जायेंगे।

उच्च दबाव, और अल्प प्रवाह पर प्रवर्तन करने वाले पम्पों के लिये बहुधा पश्चाग्र गति विस्थापन पम्प (Reciprocating Displacement Pumps) प्रयोग किये जाते हैं। विस्थापित पम्प प्रभाव प्राप्त करने के लिये, दो परिभ्रमणशील अंशकों का प्रयोग करने वाले, परिभ्रामी पम्प (Rotary Pumps) भी विस्तृत रूप में प्रयोग होते हैं। परिभ्रामी पम्पों को, अधिकतर, भारी तेल, शरबत, या इसी प्रकार के दूसरे द्रवों के लिये प्रयोग किया जाता है। दोनों प्रकार के पम्प, अल्प वेग पर प्रवर्तन करते हैं; और मोटरों को उनके साथ, साधारणतया, पट्टी (Belt) गियर (Gear) अथवा चेनों (Chains) के द्वारा युजित किया जाता है। मोटरों को, ये पम्प साधारणतया, सामान्य दबाव के विरुद्ध आरम्भण करने होते हैं। इसलिये उच्च विभ्रमिषा वाले प्ररोचन मोटर ही समान्यतः प्रयोग किये जाते हैं।

लगभग सभी प्रकार के पम्पों की दक्षता 65 से 80 प्रतिशत तक होती है। सामान्यतः यह 75 प्रतिशत होती है। पम्प को चलाने के लिये मोटर अश्व शक्ति की संगणना, इस दक्षता का प्रयोग कर के पम्प प्रदा के आधार पर की जा सकती है; और काफ़ी हद तक भूल की सम्भावना नहीं है।

अभ्यास 13-1 : एक केन्द्रापग पम्प अपने क्षमित वेग 1750 प० प्र० मि० पर निरंतर प्रवर्तन करता है और उसके लिये 20 lb-ft की विभ्रमिषा की आवश्यकता होती है। शक्ति प्रदाय त्रिफ़ेज 50 चक्र, 400 वोल्ट है। सबसे सस्ती मोटर और उसकी आरम्भण सज्जा निर्धारित कीजिये?

पंखे, धौंकनी और कम्प्रेसर (Fans, Blowers and Compressors) : पंखा और धौंकनी अपने लक्षणों में केन्द्रापग पम्पों के समान ही होते हैं। वास्तव में, वे द्रव के स्थान पर गैसों के लिये प्रयोग होनेवाले पम्प ही हैं। पम्प की ही भाँति, इनमें भी, बिना निष्क्रम विवर (Outlet Orifice) में परिवर्तन किये, आयतन अथवा प्रवाह, वेग के परिवर्तन के अनुसार ही विचरण करेगा। दबाव, वेग के वर्ग के अनुसार विचरण करेगा; जब कि अपेक्षित अश्व शक्ति लगभग वेग के घन के अनुसार विचरण करेगी।

केन्द्रापग तथा प्रणोदक (Propeller) पंखों का निष्पादन, प्रवाह निग्रहण करने के लिये, उन्मोचन क्षेत्रफल (Discharge Area) के नियंत्रित होने पर कुछ भिन्न होता है। केन्द्रापग पंखे में, प्रवेश, पंखे के केन्द्र में होता है और उन्मोचन, एक कुन्तल धानी (Spiral Casing) की ओर अरीय (Radial) होता है। यह पंखा दबाव उत्पन्न करने के लिये, गैस के केन्द्रापग बल पर निर्भर करता है। यदि उन्मोचन विवर को छोटा कर दिया जाय, तो गैस ब्लेडों में से कम द्रुत वेग से प्रवाहित होती है और अपेक्षित अश्व शक्ति भी कम हो जाती है। प्रणोदक प्ररूप के पंखे में, जो वायु को धुरीय दिशा में हटाता है, उन्मोचन विवर के बन्द करने से पश्च दबाव (Back Pressure) बढ़ जाता है और इसलिये अश्व शक्ति भी बढ़ जाती है। यह प्रभाव इतना अधिक हो सकता है, कि मूल शक्ति की कई गुनी शक्ति की आवश्यकता हो सकती है। इसीलिये यह महत्वपूण है, कि यदि ध्मात्र प्रणोदक प्ररूप का है, तो वायु प्रवाह का नियंत्रण, ध्मात्र को प्ररोधित करके निष्पादित न किया जाय। इससे मोटर के अतितापित हो जाने की संभावना है।

कम्प्रेसर या तो केन्द्रापग अथवा पश्चाग्र गति के प्ररूप के हो सकते हैं। साधारणतया, अधिक आयतन तथा सीमित दबाव के लिये, केन्द्रापग प्ररूप के कम्प्रेसर ही अच्छे समझे जाते हैं। जहाँ तक मोटर प्रयुक्तियों का प्रश्न है, वे केन्द्रापग पम्पों के समान ही होती हैं। परन्तु कम्प्रेसर, सामान्यतः, उच्च वेग पर प्रवर्तन करते हैं। इसलिये मोटर वेग को उपक्रमित (Step Up) करने के लिये, गियर की आवश्यकता होती है। सामान्य प्रयोजन पन्जर मोटर, समक्रमिक मोटर अथवा वर्तित भ्रमिता मोटर ही सर्वसाधारण चालक हैं। इनका चयन, नियंत्रण आवश्यकताओं, शक्ति खंड सुधार की आवश्यकता, तथा दूसरी दशाओं के ऊपर निर्भर करेगा।

पश्चाग्र गति कम्प्रेसर, वस्तुतः, अल्प वेग और उच्च दबाव मशीनें होती हैं। ये साधारणतया, स्थिर वेग पर प्रवर्तन करते हैं और पन्जर मोटर अथवा समक्रमिक मोटर का उपयोग करते हैं। छोटे आकार के कम्प्रेसर, उच्च वेग के मोटर का उपयोग करते हैं और अल्प केन्द्रित पट्टी अथवा गियर मोटरों की भाँति, अन्तर्धारण गियर (Self Contained Gears) प्रयोग कर सकते हैं। बड़े आकार के कम्प्रेसर में, बहुधा सीधी युजित अल्प वेग की समक्रमिक मोटर प्रयोग की जाती है। इस कार्य के लिये, बहुधा, इंजन प्ररूप के मोटर [जिनमें भ्रमिता, कम्प्रेसर ईषा पर ही आरोहित होती है और स्थाता में ऐंड बेल (End Bell) की आवश्यकता नहीं होती] भी प्रयोग किये जाते हैं।

अभ्यास 13-2 : किसी प्ररोचित-वहति पंखे (Induced Draft Fan) को 585 प० प्र० मि० के अपने अधिकतम वेग पर 500 पाउंड-फ़ीट की विभ्रमिषा अपेक्षित होती है। घर्षण 25 lb-ft पर लगभग स्थिर रहता है। शेष

विभ्रमिषा, वेग के वर्ग के अनुसार विचरण करती है। इसे 300 प० प्र० मि० तक के निरंतर विचरणशील वेगों पर प्रवर्तन कराना है। शक्ति प्रदाय त्रिफ़ेज़, 50 चक्र 440 वोल्ट है। मोटर का प्ररूप, आकार और नियंत्रण निर्धारित कीजिये।

मशीन टूल (Machine Tools) : मशीन टूल उद्योग में द्रुत उन्नति हो रही है। अधिकाधिक स्वयंक्रिय मशीनें निर्माण की जा रही हैं, जिनमें विभिन्न मोटर-चालक लक्षण (Motor drive Characteristics) और तत्सम्बन्धी वेग-विचरण प्रयोग किये जाते हैं। इन विशेष प्रयुक्तियों के लिये, मोटर विशिष्टताओं को निश्चित करने के हेतु, साधारणतया किसी बड़ी विद्युत निर्माण कम्पनी के सुयोग्य प्रतिनिधि के साथ मिलकर काम करना ही उपयुक्त होता है। तथापि बहुत-सी सामान्य प्रकार की मशीनें भी होती हैं, जिनके लिये प्रवर्तन इंजीनियर द्वारा ही मोटरें निर्धारित की जा सकती हैं।

आरे (Saw) अधिकतर स्थिर वेग के होते हैं; और उनके लिये, साधारणतया, सामान्य प्रयोजन पन्जर प्ररोचन मोटर ही प्रयोग किये जाते हैं (यदि प्र० धा० शक्ति उपलब्ध है)। परन्तु यदि केवल अ० धा० ही प्राप्य हो, तो मोटर, कार्य विशिष्ट पर निर्भर करते हुए पार्श्वायिन अथवा संचयी मिश्र मोटर होते हैं।

शियर (Shears), पन्च प्रेस (Punch Press) और फ़ोर्जिंग मशीनों (Forging Machines) में बहुधा ऊर्जा संग्रहण के हेतु तथा भार का समकरण करने के लिये प्रचक्रों (Fly-wheels) का प्रावधान होता है। इन मशीनों के लिये उच्च-सर्पण पन्जर मोटर प्रयोग किये जाते हैं; जिससे कि भार के बढ़ने पर मोटर कुछ मन्द हो जाय, और प्रचक्र को संग्रहित ऊर्जा प्रदान करने के लिये अनुमति दे सके। यदि केवल अ० धा० शक्ति ही उपलब्ध हो, तो संचयी मिश्र मोटर प्रयोग की जानी चाहिये।

खराद (Turning) तथा काटने की मशीनों में, सामान्यतः, वेग व्यवस्थापन की आवश्यकता होती है। बहुत-सी छोटी मशीनों में इसे पट्टिका, गियर अथवा दूसरे यांत्रिक साधनों से प्राप्त किया जा सकता है। परन्तु बड़ी मशीनों में, मोटर के द्वारा ही वेग व्यवस्थापन करना ठीक होता है। समायोज्य वेग पार्श्वायिन मोटर (Adjustable Speed Shunt Motor) ही इस कार्य के लिये सबसे अधिक प्रयुक्त होती है। यदि काफ़ी मशीनें हों तो मोटर समूह को प्रदाय करने के लिये, एक मोटर जनित्र सेट अथवा ऋजुकारी का उपयोग किया जाता है; जो मोटरों को, स्थिर वोल्टता की अव्यवहित धारा प्रदाय करता है। यदि केवल एक या दो मशीनें ही हों, तो प्रत्येक मोटर के लिये ग्रिड नियंत्रित (Grid Controlled) ऋजुकारी का प्रावधान, अधिक मितव्ययी होता है; क्योंकि इसके द्वारा नियंत्रण संभावनाओं का परास बहुत ही विस्तृत

हो जाता है। मोटर के आकार का निश्चय, प्रति मिनट हटाई जानेवाली घन इंच धातु से किया जा सकता है। यह उपकरण के प्ररूप तथा धातु पर निर्भर करता है। लेथ (Lathe) तथा ड्रिलों के लिये अधिक सामान्य धातुओं के स्थिरांक निम्नलिखित तालिका में दिये गये हैं।

तालिका 13–1

लेथ और ड्रिलों द्वारा विभिन्न धातुओं को 1 घन इंच प्रति मिनट की दर से हटाने के लिये अपेक्षित अश्व शक्ति

	Lathes	Drills
Brass (and similar alloys)........................	0.2 to 0.3	0.4 to 0.6
Cast iron..	0.3 to 0.5	0.6 to 1.0
Wrought iron and mild steel (0.3 to 0.4 per cent carbon).	0.6	1.2
Hard steel (0.5 per cent carbon)..................	1.0 to 1.3	2.0 to 2.5

ये स्थिरांक मिलिंग मशीनों (Milling Machines), समकर मशीनों (Planers), शेपर (Shaper) और स्लौटर मशीनों (Slotters) के लिये भी प्रयोग किये जा सकते हैं। इनमें से अधिकांश में अपेक्षित अश्वशक्ति, ड्रिल की अपेक्षा, लेथ के लक्षणों के अधिक समान होती है।

अभ्यास 13–3 : एक एंजिन लेथ को 20 अ० श० के मोटर की आवश्यकता है, जिसका वेग, पूर्ण क्षमित मान से अर्ध क्षमित मान तक व्यवस्थापित किया जा सके। शक्ति प्रदाय त्रिफ़ज़ 440 वोल्ट है। यह आशा की जाती है, कि, अधिकांश समय मोटर लगभग आधे वेग पर ही प्रवर्तन करेगा और पूर्ण वेग केवल 10% समय के लिये ही अपेक्षित होगा। लाभों की तुलना करते हुए तीन संभव समाधान बताइये।

क्रेन और एलीवेटर (Cranes and Elevators) : क्रेन और एलीवेटरों में अ० धा० अथवा प्र० धा० दोनों शक्ति प्ररूप प्रयोग किये जा सकते हैं। परन्तु अच्छी नियंत्रण संभावनाओं के कारण, अ० धा० शक्ति ही अधिमान्य होती है। जब क्रेन अथवा एलीवेटर कभी-कभी ही प्रयोग में आता हो, तो वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटर के प्रयोग से भी संतोषप्रद नियंत्रण प्राप्त किया जा सकता है। यदि परिशुद्ध नियंत्रण की आवश्यकता न हो तो उच्च सर्पण पन्जर मोटर भी प्राथमिक रोध नियंत्रक (Primary Resistance Control) के साथ प्रयोग किये जा सकते हैं। जब क्रेन अथवा एलीवेटर उत्पादन कार्य के लिये, निरंतर प्रवर्तन कर रहे हों, तो प्रवर्तन के अतिरिक्त वेग, और नियंत्रण की परिशुद्धता के लिये प्र० धा० से अ० धा० शक्ति के परिवर्तन के हेतु, रूपान्तरण एकक (Conversion Unit) के साथ, अ० धा० मोटर ही सबसे उपयुक्त होगा।

दूसरी औद्योगिक मशीनें : यहाँ पर; पन्च, डाई, वेल्लन प्रवर्तन (Rolling Operations), तार खींचना, कागज़ उद्योग तथा दूसरे सहस्त्रों औद्योगिक प्रवर्तनों के लिये, जिनमें विद्युत मोटरों की आवश्यकता होती है, कोई निश्चित पर्यालोचन नहीं दिया गया है। व्यक्तिगत औद्योगिक स्थितिओं की आवश्यकताओं के ज्ञात होने पर, उपयुक्त विद्युत सज्जा निश्चित करने के लिये साधारणतया निम्नलिखित सिद्धान्त प्रयोग किये जा सकते हैं।

अभ्यास 13-4 : एक गिट्टी धोनेवाले संयन्त्र में एक पट्टी-वाहक को बंकर (Bunker) में 50 टन गिट्टी प्रति घंटा पहुँचानी है। बंकर, प्रदाय से, 100 फ़ीट की ऊचाई पर स्थित है। घर्षण भार $2\frac{1}{2}$ *H. P.* है। आरम्भण विभ्रमिषा पूर्ण भार मान के 200 प्रतिशत तक हो सकती है। शक्ति प्रदाय 400 वोल्ट, त्रिफ़ेज़ 50 चक्र है। मोटर तथा नियंत्रक निर्धारित कीजिये।

विद्युत मोटरों के लक्षण

अधिकांश अ० धा० और प्र० धा० मोटरों का पर्यालोचन, उनके सिद्धान्त तथा लक्षणों के अध्ययन करते हुए ही किया जा चुका है। इन लक्षणों का संक्षेप, तथा अ० धा० और प्र० धा० मोटरों का तुलनीकरण अपेक्षित हो सकता है।

प्र० धा० प्ररोचन मोटर, सामान्यत:, स्थिर वेग पर प्रवर्तन करते हैं। पन्जर मोटरों की आरम्भण धारा अधिक होती है (पूर्ण भार धारा के 4 से 7 गुनी तक)। इतनी उच्च धाराओं के लिये भी आरम्भण विभ्रमिषा, सामान्यत:, पूर्ण भार विभ्रमिषा की 100 से 200 प्रतिशत तक ही होती है।

दो वर्तनों के प्रयोग से समायोज्य वेग (सीमा के अन्दर) प्राप्त किया जा सकता है; और दो या चार वेग भी प्राप्त हो सकते हैं। परन्तु ऐसे मोटर, साधारण मोटरों की अपेक्षा, अधिक मँहगे होते हैं, और इनकी दक्षता उतनी अधिक नहीं होती। विचरणशील वेग और उच्च आरम्भण विभ्रमिषा, वर्तित भ्रमिता मोटरों से, भ्रमिता परिपथ में बाहरी रोध लगा कर प्राप्त की जा सकती हैं। इन मोटरों का वेग, भार परिवर्तन के साथ-साथ विचरण करता है। जहाँ तक शक्ति उपयोगिता का प्रश्न है, इन मोटरों की दक्षता भी कम होती है।

प्र० धा० समक्रमिक मोटर, एकदम स्थिर वेग पर प्रवर्तन करते हैं; परन्तु उनके द्वारा शक्ति खंड सुधार भी किया जा सकता है। अल्प वेग पर और बड़े आकारों में वे प्ररोचन मोटर की अपेक्षा कम मंहगे और अधिक दक्ष होते हैं।

अ० धा० मोटरों में, उपयुक्त नियंत्रण उपकरणों द्वारा, अगणित प्रकार के लक्षण प्राप्त किये जा सकते हैं। भार परिवर्तन होने पर भी पार्श्वायन मोटर लगभग स्थिर वेग पर ही प्रवर्तन करते हैं। तथापि इनका वेग एक छोटे से क्षेत्र विचरोधक द्वारा सरलतापूर्वक व्यवस्थापित किया जा सकता है। एक समायोज्य

वेग अ० धा० मोटर का वेग परास, साधारणतया, सामान्य आधार वेग (Normal Base Speed) से चार गुना तक होगा। यह, वस्तुतः, एक अ० धा० पाश्र्वायिन मोटर होता है।

अ० धा० मोटरों के क्षेत्र में माला वर्तन जोड़ देने पर नियंत्रण संभावनायें बहुत बढ़ जाती हैं। इसके अतिरिक्त, यदि धारा प्रवाह का नियंत्रण करने की विधि भी हो; तो इस प्रकार के मोटर को, स्थिर विभ्रमिषा, स्थिर तनाव अथवा दूसरे विशिष्ठ लक्षणों वाला बनाया जा सकता है।

अधिक जटिल औद्योगिक मशीनों और साथ ही साथ सरल ऋजुकारियों के विकास के कारण, औद्योगिक संयन्त्रों में अ० धा० मोटरों का प्रयोग शीघ्रता से बढ़ रहा है।

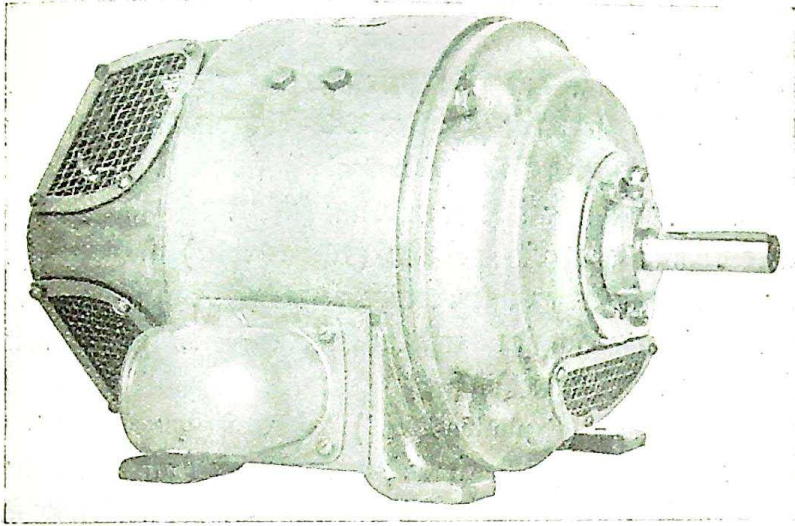
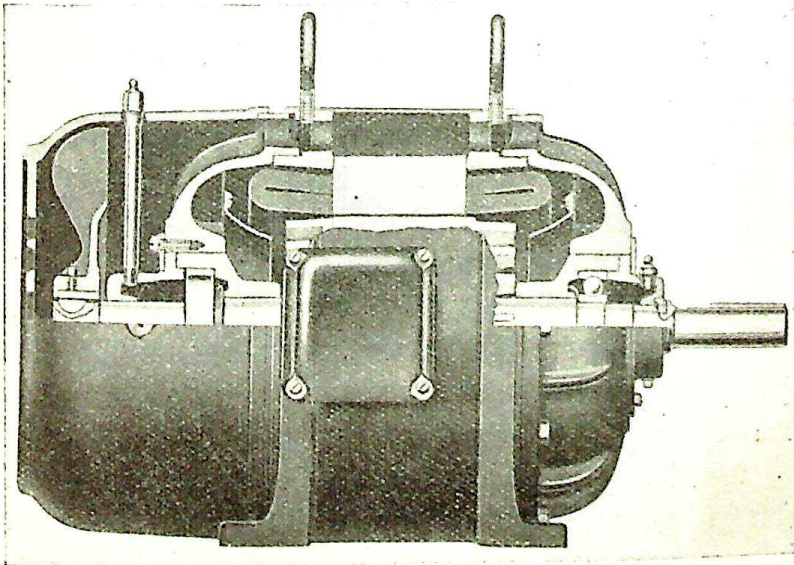
मोटर आवरण के प्ररूप

कुछ दशाओं में, मोटरों के लिये विशेष प्रकार के आवरण की आवश्यकता होती है। इस प्रकार के आवरणों के प्रावधान करने को मोटर का **संवेष्टन करना** (Packaging the Motor) कहा जाता है; जिससे वह उन दशाओं में, जिनमें उसे प्रवर्तन करना है, ठीक से रह सके। साधारणतया, (पहले पर्यालोचित किये गये) वेग, विभ्रमिषा और नियंत्रण लक्षणों पर इसका कोई प्रभाव नहीं होता। किन्तु मोटर के, अनवरत संतोषप्रद रूप से प्रवर्तन करने के लिये, उसका उचित आवरण निर्धारित करना महत्वपूर्ण है।

खुले मोटर वह होते हैं, जिनमें संवातन वायु (Ventilating Air) के प्रवाह पर यांत्रिक बनावट को छोड़ कर अन्य कोई नियंत्रण नहीं होता। इस प्रकार के मोटर सर्वसामान्य होते हैं और दूसरे प्ररूपों से सस्ते होते हैं। ये उन सभी जगह प्रयोग किये जा सकते हैं, जहाँ प्रवर्तन दशायें काफ़ी संतोषजनक हों और किसी प्रकार के बाहरी संरक्षण की आवश्यकता न हो।

रक्षित मोटरों में, सभी संवातन विवर (Ventilating Openings), तारपट (Wire-Screen), विस्तारित धातु (Expanded Metal) अथवा निच्छिद्रित धातु ढक्कन (Perforated Metal Cover) से ढके होते हैं, जिससे सजीव (Live) अथवा परिभ्रामी भागों से अचानक स्पर्श न हो।

द्रप्स रक्षित (Drip-Proof) **मोटर** में, संवातन विवर इस प्रकार बने होते हैं, कि मोटर पर गिरनेवाली द्रव की बूंदें यदि ऊर्ध्वाधर से 15° से अधिक अभिनत न हों तो वे मशीन के अन्दर प्रवेश नहीं कर पायेंगी।

छींटा रक्षित (Splash-Proof) **मोटरें** इस प्रकार बनी होती हैं, कि ऊर्ध्वाधर से 100° तक अभिनत सीधी रेखा में मोटर की ओर आनेवाला द्रव, संवातन विवरों में प्रवेश नहीं कर सकता। इस प्रकार की मोटरें बाहरी प्रयुक्तियों में उपयोग में लाई जा सकती हैं।

चित्र 13-1 : प्रमाणिक क्षैतिज गेंद भारु-वाली अ० धा० मोटर
(पट ढक्कनों द्वारा रक्षित)

चित्र 13-2 : पूर्णतया समावृत, पंखा शीतित पन्जर प्ररोचन मोटर
(रचना प्रदर्शित करने के लिये भागों को काट दिया गया है)

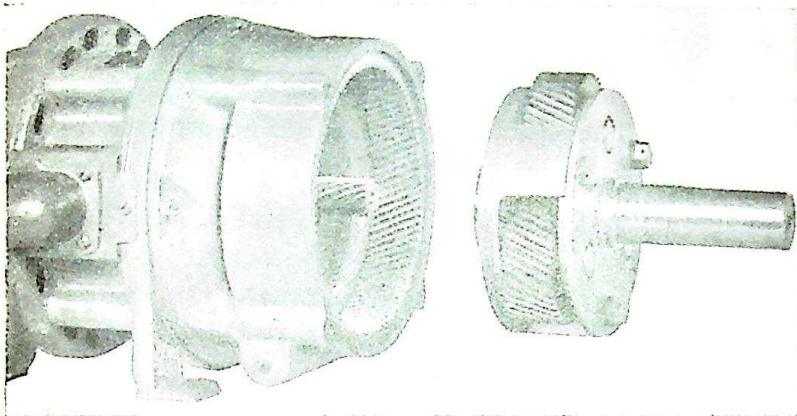
पूर्णतया समावृत (Totally Enclosed) मोटर जैसा इनके नाम से स्पष्ट है, पूर्णतया ढकी हुई होती हैं जिससे कि मोटर-आवरण के भीतर तथा बाहर की वायु में अदल-बदल न हो सके। यदि मोटर ईषा के ऊपर, बाहरी शीतन के लिये एक पंखा भी लगा हो (जैसा चित्र 13-2 में दिखाया गया है), तो मोटर को **पूर्णतया समावृत, पंखा शीतित** (Fan-Cooled) मोटर कहते ह।

यदि पूर्णतया समावृत मोटर इस प्रकार बनी हो, कि धार में आते हुए जल को अन्दर न पहुँचने दे तो उसे **जल-रक्षित** (Water-Proof) मोटर कहते हैं। इस प्रकार की मोटरें उन स्थानों पर प्रयोग की जाती हैं जिन्हें थोड़ी-थोड़ी देर बाद पानी से धोया जाता हो। जहाँ पर वातावरण में काफ़ी धूल और गंदगी हो, वहाँ भी ये मोटरें प्रयुक्त होती हैं।

विस्फोट रक्षित (Explosion-Proof) **मोटर** में एक ऐसे समावृत आवरण का प्रावधान होता है, जो अपने अन्दर होनेवाले किसी विशिष्ट गैस अथवा धूलि के विस्फोट को सहन कर सके तथा आन्तरिक विस्फोट से बाहर में उसी गैस अथवा धूलि के उज्ज्वालन को रोक सके।

अनेक प्रकार के आवरण और भी होते हैं, परन्तु ऊपर उल्लिखित ही उनमें से अधिक मुख्य हैं। ये विशिष्ट आवरण, अ० धा० अथवा प्र० धा० मोटरों के लिये, लगभग सभी विभिन्न प्रवर्तन लक्षणों के लिये उपलब्ध होते हैं। विशिष्ट आवरण वाली मोटर खुली मोटरों की अपेक्षा अधिक मँहगी होती हैं। वस्तुतः, पूर्णतया समावृत मोटर का मूल्य काफ़ी अधिक होता है क्योंकि शीतन की कठिनाई के कारण उसी क्षमता के लिये बड़ी मोटर की आवश्यकता होती है।

भारु (Bearings) : भारुओं का रूप मोटर की एक महत्वपूर्ण यांत्रिक विशेषता है। क्षैतिज स्थित मोटरों में, तैल-स्नेहित, बाहुप भारु (Oil Lubricated Sleeve Bearing) लगाये जाते हैं। जब तक तैल प्रदाय का ठीक से ध्यान रक्खा जाता है, ये भारु बहुत संतोषप्रद रहते हैं। कुछ प्रयुक्तियों में, मोटर तक पहुँचना कठिन होता है और ऐसी दशा में गेंद-भारुओं (Ball Bearings) को निर्धारित करना अधिक उपयुक्त होता है। ये भारु, काफ़ी समय तक, बिना विशेष ध्यान दिये, संतोषजनक कार्य करते हैं। गेंद-भारु उन मोटरों में भी प्रयुक्त होती हैं; जो क्षैतिज से अभिनत स्थिति में आरोहित होती हैं, और जहाँ मोटर के ऊपर किसी प्रकार का धुरीय वितोद (Axial Thrust) होता है।

गियर मोटर (Gear Motor) : अधिकांश विद्युत मोटर, उच्च वेग मशीनें होती हैं। इनको छोटे और मध्यम आकारों में 900 प० प्र० मि० से कम वेग का बनाना मितव्ययी नहीं होता। अल्प चालक वेगों के लिये, 1750 प० प्र० मि० की गियर मोटरें सस्ती तथा अधिक दक्ष होती हैं। अधिकांश अवस्थाओं में ये मोटरें गियर आवरण पर आरोहित होती हैं। ये गियर, प्रदा ईषा के

चित्र 13-3 : गियर मोटर, गेंद-भारु, पंजर बहुफेजीय प्ररोचन प्रचलन (प्रदा ईधा वेग 600 से 154 च० प्र० मि० ; गियर पंजर हटा दिया गया है)

वेग को अपेक्षित मान तक घटा देते हैं और इस प्रकार 4 से 1400 प० प्र० मि० तक के वेग प्राप्त हो सकते हैं। भार, इनमें, अल्प वेग मोटर के समान ही लगाया जाता है।

मोटर क्षमतायें (Motor Ratings)

सभी विद्युत मशीनें, प्रदा शक्ति के आधार पर क्षमित होती हैं। इस प्रकार एक 5 अश्व शक्ति मोटर अपने क्षमित वेग पर, गारंटी सहित 5 अश्व शक्ति प्रदाय करेगा ; जब कि इस पर, इसकी नाम-पट्टिका पर लिखित, निर्धारित प्ररूप की क्षमित वोल्टता आरोपित की जाय। मोटर पर अधिकतम भार की मात्रा, तापन द्वारा सीमित होती है। सामान्य प्रयोजन मोटर के लिये, निरंतर पूर्णभार वहन करते हुए 40°*C* से अधिक तापमान न बढ़ने की गारंटी दी जाती है। यह मान लिया जाता है, कि वायु का तापमान 20°*C* से अधिक नहीं होता। ठण्डे वातावरण में, बिना सुरक्षित तापमान का अतिक्रम किये, मोटर कुछ अतिरिक्त भार भी वहन कर सकेगी।

कुछ प्ररूप के मोटर 50°*C* तापमान वृद्धि के लिये प्ररचित होते हैं ; और यह उनकी नाम-पट्टिका पर निर्धारित होता है। पूर्णतया समावृत मोटर, 55°*C* तापमान वृद्धि के लिये क्षमित होते हैं। ये तापमान, *A* वर्ग के विसंवाहन के प्रयोग पर आधारित होते हैं। *A* वर्ग के विसंवाहन, विभिन्न व्यापन मिश्रों (Impregnating Compounds) से भरे हुए, रुई, रेशम, कागज़ तथा इसी प्रकार के दूसरे प्रांगारिक पदार्थ के बने होते हैं। *B* वर्ग के विसंवाहक, उच्च तापमान के विशेष मिश्रों से संघटित काँच, अभ्रक और इसी प्रकार के अन्य अप्रांगारिक पदार्थों से बने होते हैं। *B* वर्ग के विसंवाहन प्रयोग करने वाली

मोटरों के लिये अधिक उच्च प्रवर्तन तापमान अधिमान्य होता है। इसलिये ये मोटरें वहाँ प्रयोग की जाती हैं, जहाँ प्रवर्तन परिस्थितियाँ अधिक कठोर हों अथवा छोटे आकार (वज़न) के मोटर अपेक्षित हों।

सविराम क्षमतायें (Intermittent Ratings) : जब मोटर पर भार अनवरत नहीं होता वरन् सविराम होता है, तब एक विशेष क्षमता निर्धारित की जाती है। सविराम क्षमता वाली मोटरों की प्रारूपिक प्रयुक्तियाँ ; क्रेन, शॉवेल (Shovel), एलीवेटर और कुछ विशेष प्रकार के मशीन टूल हैं। सर्वसामान्य काल-क्षमतायें ; 1 घंटा, $\frac{1}{2}$ घण्टा, 15 मिनट और 5 मिनट की होती हैं। अधिमान्य तापमान वृद्धि, विसंवाहन के वर्ग पर आश्रित होती है। A वर्ग के लिये, सामान्यतः, $55^{\circ}C$ तथा B वर्ग के लिये $75^{\circ}C$ तापमान वृद्धि अनुमत होती है।

15 मिनट अथवा उससे अधिक काल क्षमता की मोटरों की क्षमता, अश्व-शक्ति में निर्धारित की जाती है। 5 मिनट की काल क्षमता वाले मोटरों को, आरम्भण विभ्रमिषा (फुट-पाउंड में) के आधार पर क्षमित किया जाता है। है। ऐसी मोटरें, वाल्व, प्रेसों और दूसरी ऐसी प्रयुक्तियों में प्रयुक्त होती हैं जहाँ इन्हें केवल कुछ ही परिक्रमण करने होते हैं। आरम्भण, तथा भार के प्रवर्तन चक्र (Operating Cycle) को पूर्ण कराने के लिये, इन्हें पर्याप्त विभ्रमिषा विकसित करना आवश्यक है।

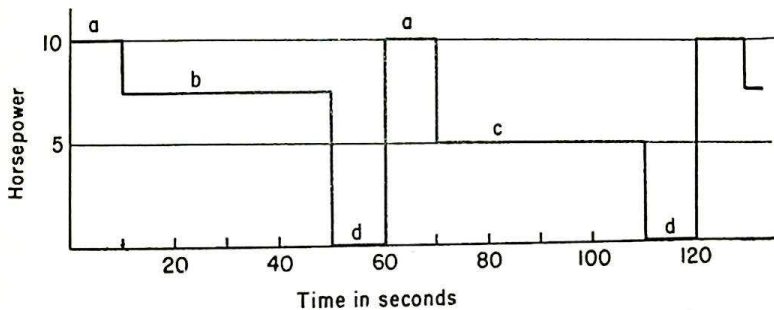
मोटर की क्षमता $\frac{1}{2}$ घंटे की निर्धारित करने का तात्पर्य यह है, कि पूर्ण क्षमित भार आधा घंटे तक अनवरत लगाया जायगा और फिर मोटर के ठंढे होने तक कई घंटों के लिये इसे बन्द रक्खा जायगा। वास्तविक भार परिस्थिति आदर्श परिस्थिति से भिन्न हो सकती है, तथापि प्रत्येक स्थिति में उतना ही तापन प्रभाव होना चाहिये जिससे $\frac{1}{2}$ घंटे की क्षमता का अधिकतम लाभ उठाया जा सके।

अनवरत प्रवर्तन करनेवाली, बहुत-सी औद्योगिक मशीनों में, मोटर से ली गई शक्ति में काफ़ी चक्रीय विचरण होता है। ऐसी प्रयुक्तियों में मोटर का उपयुक्त आकार निश्चित करने के लिये, चक्रीय भार धारा का सम तापन प्रभाव ज्ञात करना होता है, क्योंकि मोटर क्षमता, तापमान परिसीमा पर आधारित होती है।

मोटर में अधिकांश तापन, भार धारा के उत्पन्न ताम्र हानियों के कारण होता है। ये हानियाँ धारा के वर्ग के अनुपात में होती हैं। इसलिये औसत तापन प्रभाव निकालने के लिये, धाराओं के वर्ग का औसत निकाल कर इसका वर्गफल निकालना आवश्यक होता है। दूसरे शब्दों में समभार धारा निकालना आवश्यक होता है। ऐसा औसत वर्गफल-औसत-वर्ग (RMS) कहा जाता है।

औसत निकालने के लिये, वर्ग किये हुए धारा मानों के अनुकलित योग (Integrated Sum) को एक चक्र की अवधि से भाग देना आवश्यक है। यह

बिना अधिक अशुद्धि के ही किया जा सकता है। बन्द होने पर मोटरें उतनी शीघ्रता से ठंढी नहीं होतीं, जितनी कि प्रवर्तन करते समय। इसलिये औसत निकालते समय, पूर्ण चक्र की अवधि में, विश्राम अवधि की $\frac{1}{3}$ अवधि ही संगणित की जाती है। सम *RMS* भार निकालने की विधि निम्नलिखित उदाहरण से स्पष्ट की जा सकती है।

उदाहरण : एक संग्राहक ढेर से कोयला ले जानेवाले वाहक (Drag Line or Conveyor) को 220 वो०, वर्तित प्ररोचन मोटर द्वारा चलाना है। अनुमान किया जाता है कि कार्य चक्र (Duty Cycle) लगभग निम्नलिखित प्रकार का होगा। मोटर की सम *RMS* अश्व शक्ति निकालिये।

चित्र 13-4 : *RMS* **भार की संगणना के लिये मोटर का कार्य चक्र**

समाधान : 1. सम चक्र काल ज्ञात करिये। यह चक्र के प्रत्येक भाग के योग और विश्राम अवधि के $\frac{1}{3}$ भाग के योग के बराबर है।

$$\text{सम चक्र काल} = 20+40+40+\frac{20}{3} = 106\cdot7$$

2. सम *RMS* भार, भार के औसत वर्ग मानों के वर्गफल से निकाला जाता है।

$$RMS \text{ अश्व शक्ति} = \sqrt{\frac{10^2\times20+7\cdot5^2\times40+5^2\times40}{20+40+40+\frac{20}{3}}}$$

$$= \sqrt{\frac{5250}{106\cdot7}} = \sqrt{49\cdot3} = 7\cdot01 \; H.P. \; \text{(उत्तर)}$$

औद्योगिक भारों के लिये मोटर नियंत्रण

मोटर की नियंत्रण युक्तियों के उद्देश्य निम्नलिखित होते हैं :

1. मोटर का आरम्भण करना और उसको रोकना।

2. मोटर को, अत्यधिक अथवा अनवरत अतिभार की दशा में, शक्ति प्रभव से वियुजित कर देना।

3. वोल्टता के सुरक्षित प्रवर्तन मान से घट जाने पर, मोटर को शक्ति प्रभव से वियुजित कर देना।

4. मोटर को किसी पूर्वनिश्चित वेग अथवा विभ्रमिपा पर प्रवर्तन कराना।

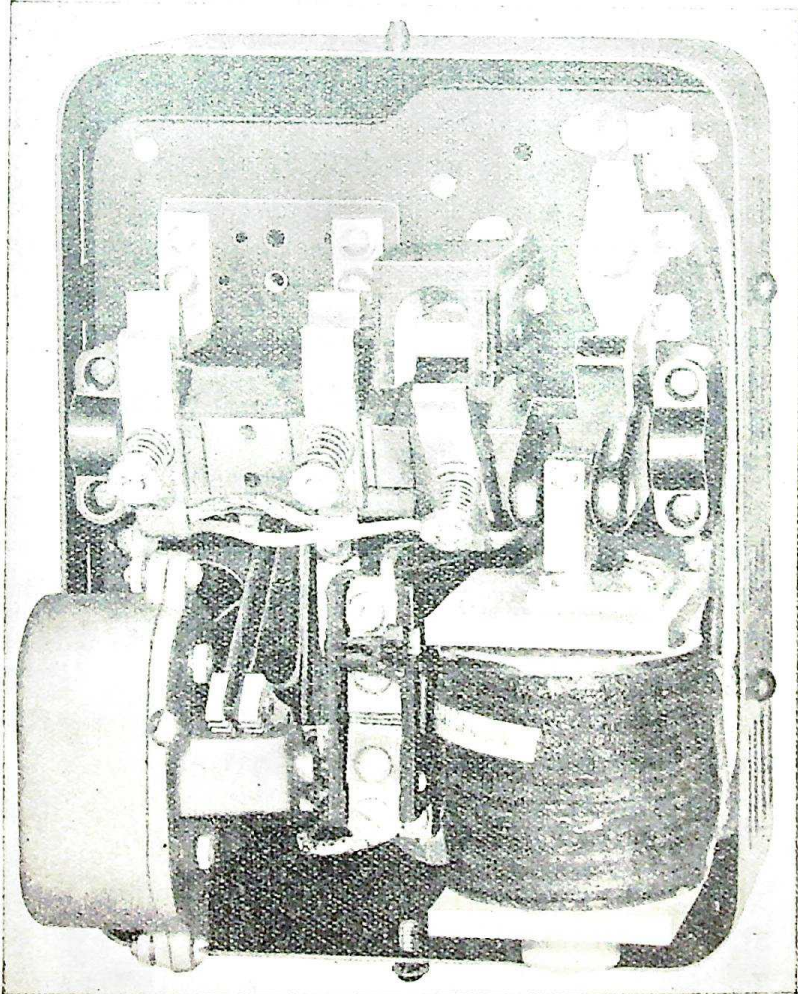
5. चलाये जानेवाली औद्योगिक मशीन के लिये, अपेक्षित वेग विभ्रमिषा के विशेष लक्षण प्राप्त कराना।

ये उद्देश्य, विभिन्न निर्माताओं द्वारा, विभिन्न विधियों से प्राप्त किये जाते हैं। ये विधियाँ मोटर के प्ररूप पर भी निर्भर करती हैं।

मोटर का आरम्भण एवं विरमण, सामान्यतः, चुम्बकीय संस्पर्शकों द्वारा किया जाता है। ये संस्पर्शक, एक दूरस्थ धक्क-बटन द्वारा नियंत्रक-चुम्बक के ऊर्जित किये जाने पर, मोटर परिपथ को पूर्ण कर देते हैं। सापेक्षतया, अल्प आकार की मोटरों में, एक ही बहु ध्रुवीय संस्पर्शक पर्याप्त (Multi pole Contacter) होता है; (यदि इसमें अतिभार तथा अल्प वोल्टता सुरक्षा का संतोषप्रद प्रावधान हो); जैसा बारहवें अध्याय में वर्णित किया गया है।

अ० धा० मोटरों में, जिनमें आरम्भण के समय, धात्र परिपथ में रोध निवेशित किया जाता है, बहुत से स्विचों का क्रमानुसार बन्द करना आवश्यक होता है। यह बहुत से संस्पर्शकों के काल क्रम में प्रवर्तन द्वारा, निष्पादित किया जाता है। छोटी मोटरों में, सामान्यतः, इसे एक ही बहुध्रुवीय संस्पर्शक द्वारा निष्पादित किया जा सकता है। ये ध्रुव, एक यांत्रिकी काल विलंबक युक्ति (Mechanical Time Delay Device) द्वारा क्रमानुसार बन्द किये जाते हैं। ऐसा नियंत्रक चित्र 13-5 में दिखाया गया है। दायें भाग में दिखाई गई परिनालिका (Solenoid) ऐसी युक्ति को ऊर्जित करती है, जो अन्ततः चलनशील संस्पर्शकों को आधारित करनेवाली क्षैतिज छड़ पर तनाव उत्पन्न कर देती है। इस छड़ का परिभ्रमण एक रैंचेट (Ratchet) द्वारा नियंत्रित होता है, जो स्विच के बाँएं निचले भाग में दिखाई गई है। यह संस्पर्शकों को पूर्वनिश्चित कालक्रम के अनुसार बन्द होने देती है। इस प्रकार जैसे-जैसे धात्र रोध का लघु परिपथन होता जाता है, मोटर गतिमान होती जाती है। अतिभार तथा अल्प वोल्टता सुरक्षायें प्र० धा० स्विच के समान ही होती हैं।

बहुत-सी औद्योगिक प्रयुक्तियों में इस प्रकार का नियंत्रण अपर्याप्त रहता है। कहीं-कहीं वेग को 1 प्रतिशत से भी कम तक नियंत्रित करना होता है जैसे कि काग़ज़ की मिलों में। कहीं-कहीं मोटर को निरंतर आरम्भ करना, रोकना और उत्क्रमित करना होता है जैसे कि विद्युत शॉवेल (Electric Shovel) में। इन विस्तृत रूप से विचरण करनेवाली मोटर प्रयुक्तियों में अन्तर्हित समस्यायें, इतनी अधिक होती हैं कि उनके बारे में कितनी ही पुस्तकें लिखी जा चुकी हैं। उन पर केवल एक संक्षिप्त अभ्युक्ति यही की जा सकती है, कि विद्युतया, प्रायः कुछ भी करना असंभव नहीं है, यदि कोई केवल रुपया व्यय करने के लिये तैयार हो।

जटिल उत्क्रमण अथवा विचरणशील वेग नियंत्रकों में, सामान्यतः, यह मान लिया जाता है कि अ० धा० मोटर ही प्रयोग होते हैं। यदि केवल प्र० धा० शक्ति ही उपलब्ध हो (जैसा कि बहुधा होता है) तो मोटर जनित्र सेट अथवा थायरेट्रॉन ऋजुकारी (Thyratron Rectifier) द्वारा अ० धा० प्राप्त की जाती है। इसलिये वेग नियंत्रण, प्रत्रैगिक आरोधन (Dynamic Braking) उत्क्रमण तथा प्लग (Plug) करने की समस्याओं का उल्लेख, सामान्यतः, अ० धा० मोटरों में ही किया जाता है।

चित्र 13-5 : **बिना ढक्कन का चुम्बकीय अ० धा० नियंत्रक**

स्थिर वोल्टता अ० धा० प्रभव से प्रदत्त, अ० धा० मोटरों में वेग नियंत्रण, सामान्यतः, पार्श्वायन क्षेत्र में विचरोधक के व्यवस्थापन से किया जाता है।

इस विधि से 4 : 1 तक का वेग विचरण प्राप्त किया जा सकता है। अधिक विचरण प्राप्त करने के लिये, अथवा सामान्य आधार वेग से कम वेग प्राप्त करने के लिये धात्र रोध निवेशित करना संभव है। परन्तु धात्र रोध द्वारा वेग नियंत्रण में, विचरणशील भार पर बहुत कम वेग नियंत्रण प्राप्त होता है; और मोटर दक्षता भी कम होती है।

यद्यपि पार्श्वायन मोटरों में क्षेत्र नियंत्रण बहुत सामान्य है, तब भी बहुत-सी अ० धा० प्रयुक्तियों में नियंत्रण की इतनी आनम्यता अपेक्षित होती है, जो साधारण पार्श्वायन मोटर में नहीं उपलब्ध होती। बहुधा अ० धा० प्रदाय के हेतु, एक मोटर जनित्र सेट का प्रावधान करना आवश्यक होता है; और चूँकि एक विशेष शक्ति प्रभव का प्रावधान होता है, इसलिये सामान्यतः, इस अ० धा० जनित्र को ही नियंत्रण तन्त्र के एक भाग के रूप में प्रयोग किया जाता है। इस अवस्था में मोटर पर पूर्ण पार्श्वायन क्षेत्र प्रदीपन संधारित किया जाता है; और मोटर के वेग नियंत्रण तथा उत्क्रमण के लिये जनित्र की वोल्टता का विचरण किया जाता है।

प्ररोचन मोटरों में, वेग नियंत्रण वारंवारता का विचरण करके प्राप्त किया जा सकता है। उच्च वेग प्रयुक्तियों में, वारंवारता परिवर्तक (Frequency Changer) का प्रयोग कर, वेग नियंत्रण किया जाता है। यह वारंवारता-परिवर्तक, एक वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मशीन के रूप में होता है; जिसके भ्रमिता परिपथ से, प्रदाय वारंवारता से अधिक वारंवारता प्राप्त करने के लिये, उसे उल्टी दिशा में चलाया जाता है।

मोटर प्रयुक्तियों की सम्पूर्ण समस्या, वस्तुतः, विद्युत तारों के तन्त्र से प्राप्त शक्ति प्रदाय को, मशीन के चलाये जाने वाली ईषा के अनुसार मैच कराने की है। संक्रामण (Transfer) में, आवश्यक क्रमों की संख्या, उपलब्ध विद्युत शक्ति के रूप पर निर्भर करती है; और साथ ही साथ, ईषा पर शक्ति आवश्यकताओं के विचरण और ह्रषता पर भी आश्रित होती है। इसलिये मोटर तथा उसके नियंत्रक का ठीक से चुनाव करने के लिये, नीचे दिये गये क्रमों का ठीक से अनुसरण करना आवश्यक है।

मोटर तथा नियंत्रक को चयन करने की विधि के क्रम

(1) **उपलब्ध विद्युत शक्ति निर्धारित कीजिये** : औद्योगिक संयन्त्र या तो अ० धा० अथवा प्र० धा० शक्ति से प्रदत्त होते हैं, पर दोनों से बहुत कम। इसलिये किसी विशिष्ठ औद्योगिक प्रयुक्ति के लिये, मोटर का चयन काफ़ी हद तक संयन्त्र के लिये प्रयोग होने वाले शक्ति तन्त्र पर निर्भर करेगा। इसलिये, यदि शक्ति प्रभव प्र० धा० हो, तो मोटर का चयन करते समय, पहले वोल्टता, फ़ेज़ संख्या, और वारंवारता को निर्दिष्ट कीजिये। प्रभव के अ० धा० होने पर, इस तथ्य को, तथा वोल्टता को ही निर्दिष्ट कीजिये।

(2) **भार को चलाने के लिये आवश्यक अश्व शक्ति निकालिये** : पट्टी वाहक, पम्पों तथा अन्य मशीनों को चलाने के लिये आवश्यक अश्व शक्ति कई विधियों से निकाली जा सकती है। यदि मशीन ख़रीदी जा रही हो, तो उसे चलाने के लिये आवश्यक शक्ति का परिमाण, निर्माता से ज्ञात किया जा सकता है। यदि मशीन स्थानीय प्रचलित है ; तो विभिन्न प्रवर्तन दशाओं में, अपेक्षित अश्व शक्ति ज्ञात करने के लिये, साधारणतया. परीक्षण करना सबसे अच्छा रहेगा। इस परीक्षण के लिये अनुमानित आकार से बड़ी मोटर को अस्थायी रूप से मशीन से युजित कर दिया जाता है (सीधे ही अथवा पट्टी द्वारा) ; और वाटमीटर से आदा शक्ति माप ली जाती है।

$$\text{आवश्यक अश्व शक्ति} \ (H.P.) = \frac{\text{मापित वाट} \times \text{मोटर दक्षता}}{746}$$

मोटर का आकार ज्ञात करने के लिये, इस बड़ी मोटर की दक्षता का अनुमान, पर्याप्त परिशुद्धतापूर्वक किया जा सकता है।

यदि चलाई जाने वाली मशीन उपलब्ध न हो, (जैसा कि मशीन के स्थानीय प्रचलन की अवस्था में होगा, जो तब तक न बनाई गई हो) तब अश्व शक्ति की संगणना, मूलभूत याँत्रिकी (Basic Mechanics) के सिद्धान्तों से करनी होगी अथवा उल्लेख-पुस्तक (Handbook) से मोटर का आकार ज्ञात करना होगा। चयन की इस विधि से, साधारणतया, अधिक बड़ी मोटर के चयन की संभावना है ; क्योंकि अनुमान करने में काफ़ी अधिक सुरक्षा खंड रखने की प्रवृत्ति पाई जाती है। (औद्योगिक संयन्त्रों में मोटरों के भार का अपरीक्षण (Survey) कर, और जहाँ संभव हो वहाँ छोटे आकार की मोटर लगा देने से काफ़ी बचत हो सकती है। ऐसा करने से शक्ति हानियाँ कम हो जाती हैं और शक्ति खंड सुधर जाता है)।

(3) **मोटर का वेग निकालिये** : चालित ईषा के वेग को जानना आवश्यक है; और साथ ही इस वेग को प्रामाणिक मोटर वेगों के अनुरूप बनाना भी आवश्यक है। प्रामाणिक वेग के तदनुरूप, उच्च वेग की ईषा के लिये, मोटर को सीधे ही युजित किया जाता है। चूंकि उच्च वेग मोटरें, अल्प वेग मोटरों की अपेक्षा अधिक सस्ती और मितव्ययी होती हैं, इसलिये मशीनों पर अल्प वेग ईषाओं को, पट्टी और घिरनी (Pulley) अथवा गियरों या गियर मोटरों के प्रयोग से मोटर वेग के अनुरूप बनाना पड़ेगा।

जहाँ वेग म विचरण अपेक्षित हो, वहाँ यह ज्ञात करना आवश्यक होगा ; कि इसे किसी प्रकार के विचरणशील वेग वाले, याँत्रिक चालक द्वारा प्राप्त किया जायगा ; अथवा मोटर के वेग में विचरण करके प्राप्त किया जायगा। यदि वेग विचरण, मोटर के वेग का व्यवस्थापन करके किया जाता है, तब उपलब्ध शक्ति के अनुरूप, विभिन्न प्ररूप की समायोज्य वेग मोटरों का विमर्शन करना

आवश्यक है। इन विभिन्न मोटरों के लक्षण संक्षेप में तालिका 13-2 में दिये गये हैं। इनका विस्तृत विवरण, अ० धा० और प्र० धा० मोटरों के अध्याय में दिया गया है।

(4) **अपेक्षित आरम्भण विभ्रमिषा निकालिये** : मशीन निर्माता, सामान्यतः, अपेक्षित आरम्भण विभ्रमिषा को भी देशित करते हैं। एक नाल प्रकुन्च (Pipe Wrench) के सिरे पर कमानीदार तुला (Spring Balance) लगाकर मशीन के आरम्भण के लिये पाउंड फीट में आरम्भण विभ्रमिषा निकाली जा सकती है। चुनी हुई मोटर की पूर्ण भार विभ्रमिषा और आरम्भण विभ्रमिषा के अनुपात की संगणना की जाती है। यदि यह अनुपात 1·75 से कम हो तो सामान्य विभ्रमिषा अथवा सामान्य प्रयोजन प्ररोचन मोटर, 'लाइन के आर-पार आरम्भक' (Across the Line Starter) के साथ प्रयोग की जा सकती है। यदि यह अनुपात, 1·75 से अधिक हो, तो उच्च आरम्भण विभ्रमिषा प्ररोचन मोटर अधिक उपयुक्त होगी। अ० धा० शक्ति के उपलब्ध होने पर समुचित नियंत्रण व्यवस्थापन के साथ, अ० धा० मोटर भी पर्याप्त आरम्भण विभ्रमिषा देगी।

(5) **उचित प्ररूप का मोटर आवरण ज्ञात करिये** : साधारण औद्योगिक परिस्थितियों में एक आमापित खुली मोटर का प्रयोग सर्वश्रेष्ठ है; क्योंकि यह सबसे सस्ती होती है, और इसका संवातन भी सबसे सुगम होता है। छींटा-रक्षित मोटर, जैसा नाम से ही स्पष्ट है, संवेष्टन गृहों (Packaging Houses) और दूसरे स्थानों में, जहाँ पर द्रवों के छींटे पड़ने का भय हो प्रयोग किये जाते हैं। यह मोटरें, मृदु जलवायु में बाहरी अधिष्ठापनों के लिये संतोषप्रद होंगी; किन्तु विसंवाहन का नियमित परीक्षण करना आवश्यक होगा। पूर्णतया समावृत, पंखा शीतित मोटरें बाहरी अधिष्ठापनों के लिये सर्वश्रेष्ठ होती हैं। अत्यधिक शीतकाल में इनके स्नेहकों (Lubricants) के लिये, तापकों की आवश्यकता हो सकती है। जहाँ पर अत्यधिक नमी और धूम्र (Fumes) पाये जाते हों वहाँ पर भी पूर्णतया समावृत मोटर उपयोग की जाती हैं। बहुधा, विशेष विसंवाहनों का प्रयोग अपेक्षित होता है। विस्फोटक गैस वातावरणों में, विभिन्न प्ररूपों की विस्फोट रक्षित मोटर में से कोई एक काम में लाई जायगी। ऐसे अधिष्ठापनों के लिये विशेष ध्यान देना आवश्यक है, और मोटर निर्माताओं के सुयोग्य प्रतिनिधि मोटर का निर्धारण करने में सहायक सिद्ध होंगे।

(6) **भारु के प्ररूप को निश्चित कीजिये** : सामान्य उपयोगिता के लिये, जहाँ मोटर क्षैतिज धुरी पर अधिष्ठापित होती है। बाहुप भारु (Sleeve Bearing) पूर्णतया संतोषप्रद होती है; जहाँ मोटर पर काफी अन्तवितोद (End Thrust) की संभावना हो, अथवा मोटर तिरछी धुरी पर या ऊर्ध्वाधर आरोहित

हो, वहाँ पर गेंद भारु (Ball Bearing) मोटर की आवश्यकता होगी। पर्याप्त देखभाल न होने की परिस्थिति में भी, गेंद भारु मोटर अधिमान्य होगी।

(7) **शक्ति लाइन की परिसीमायें निकालिये :** बड़ी मोटरों को लाइन के आर-पार सीधे ही आरम्भ करने की योजना बनाने के पहले, शक्ति कम्पनी की अनुमति ले लेनी चाहिये। अधिष्ठापन के स्थान पर, संभावी वोल्टता विचरण ज्ञात करिये और यह पता करिये कि यह संयन्त्र में दूसरे प्रवर्तनों में बाधक तो नहीं होगा। यदि कम वोल्टता पर आरम्भण अपेक्षित हो ; तो मोटर और नियंत्रक को बारहवें अध्याय में दी गई विधियों के अनुसार निर्धारित करिये।

यह पता करिये, कि शक्ति खंड सुधार सहित समक्रमिक मोटर के प्रयोग से क्या लाभ हो सकेगा। यदि शक्ति खंड सुधार के लाभ से अतिरिक्त व्यय का औचित्य सिद्ध किया जा सकता है, और यदि समक्रमिक मोटर, परिस्थितियों के अनुसार उपयुक्त चालक मोटर हो तो उसे निर्दिष्ट करना चाहिये।

(8) **मोटर निर्दिष्ट कीजिये :** उपर्युक्त जानकारी और निर्माताओं की सूचियों के आधार पर मोटर को निर्दिष्ट करना संभव होना चाहिये। ऐसी विशेषताओं के लिये जिन पर विशारदों की सलाह अपेक्षित हो, तो भी अपने सलाहकार के पथ प्रदर्शन करने के लिये, उपर्युक्त जानकारी इकट्ठा करना महत्व-पूर्ण होगा। निर्माताओं के प्रतिनिधि बड़े सहायक हो सकते हैं। परन्तु जहाँ दो विरोधी अभिस्ताव (Recommendations) दिये जाँय, वहाँ प्रमुख इंजीनियर को ही निश्चय के लिये उत्तरदायी होना चाहिये।

इस अध्याय का विषय तालिका 13-2 में संक्षिप्त किया गया है। मोटर वर्ग, वेग लक्षणों के आधार पर निश्चित किये गये हैं। यह तालिका सहायक सिद्ध होगी परन्तु निर्माताओं के नवीनतम सूची विषयों को ही अन्तिम निर्णय के लिये संमन्त्रित करना चाहिये।

चौदहवाँ अध्याय

इलेक्ट्रॉन नाल और परिपथ (द्विओद)

(ELECTRON TUBES & CIRCUITS [DIODES])

इंजीनियरी में शून्यक नालों और परिपथों का स्थान

विज्ञान के ज्ञान के विस्तार के साथ-साथ इंजीनियर को नये-नये उपकरण उपलब्ध होते रहते हैं। इन सब उपकरणों में एक सबसे अधिक उपयोगी उपकरण इलेक्ट्रॉन नाल तथा उससे संबन्धित परिपथ संभावनाओं का विस्तृत ज्ञान है।

इलेक्ट्रान नाल के कुछ वांछनीय लक्षण संक्षेप में नीचे दिये गये हैं। नालों के सिद्धान्तों का अध्ययन करते समय इन लक्षणों के कारण विकसित किये जायेंगे और उसके बाद कुछ संभावी प्रयुक्तियों का पर्यालोचन भी किया जायगा)। प्रथम तो, इलेक्ट्रॉन की जड़ता कम होने के कारण, इलेक्ट्रॉन नाल, किसी भी नियंत्रण उद्दीपन पर प्रतिचारण करेगा। वास्तव में अधिकांश वाणिज्यिक प्रयुक्तियों में प्रतिचारण काल (Response Time) इतना द्रुत होता है कि, उसे पूर्णतया नगण्य माना जा सकता है, और नाल को तात्क्षणिक प्रतिचारण देने वाला समझा जा सकता है। दूसरे, नाल को लगभग नगण्य उद्दीपन अथवा नियंत्रण ऊर्जा की आवश्यकता होती है जिसके कारण इसकी हृषता बहुत अधिक होती है। इसलिये यह वाणिज्यिक प्रयुक्तियों के लिए बहुत ही उपयोगी है। तीसरे, विशेष परिपथों में इन नालों के लक्षणों का लाभ उठाकर कैसा भी अपेक्षित प्रतिचारण प्राप्त किया जा सकता है। इसके द्वारा माइक्रो-अम्पीयर से लेकर हजारों अम्पीयर तक की धारा नियंत्रित की जा सकती है। इसी प्रकार माइक्रों-वोल्ट से लेकर हज़ारो वोल्ट तक की वोल्टतायें प्राप्त तथा नियंत्रित की जा सकती हैं।

इलेक्ट्रॉन नालों का ऐतिहासिक विकास

टॉमस एडीसन ने, विद्युत दीप के ऊपर अपने पहले प्रयोगों में यह अवलोकित किया, कि यदि दीप के काँच के बल्ब के अन्दर एक धातु पट्टिका सील कर दी जाय तो पट्टिका को अंशु के धनात्मक अवसान से युजित करने पर, पट्टिका से अंशु की ओर को धारा प्रवाहित होने लगेगी। परन्तु पट्टिका के ऋणात्मक अवसान से युजित करने पर कोई प्रवाह नहीं होता। यह आविष्कार तथा इसका अभिलिखन सन 1883 में हुआ था, परन्तु घटना को समझा नहीं गया। शताब्दी के अन्त में, जब जे० टॉमसन ने इलेक्ट्रॉन की खोज तथा पहचान की, तब इस घटना का भी स्पष्टीकरण किया। 1904 में फ्लेमिंग वाल्व (Fleming Valve) के आविष्कार से, और 1906 में डाक्टर ली० ड० फॉरेस्ट (Dr Lee De Forest)

के ऑडियान (Audion) के आविष्कार से शून्यक नालों का वाणिज्यिक विकास शीघ्रतापूर्वक हुआ। आजकल कितने ही आकार, प्रकार तथा लक्षणों के विभिन्न प्ररूपों के नाल उपयोग किये जाते हैं।

औद्योगिक प्रवर्तनों में होने वाला, शून्यक नालों का विस्तृत उपयोग, शीघ्रता से बढ़ रहा है। इंजीनियरों के लिये, अपने विशेष क्षेत्रों में इस उपकरण का बुद्धिमत्ता-पूर्वक प्रयोग कर, अंशदान करने का बहुत अवसर है।

शून्यक में अणुओं और इलेक्ट्रॉनों का चलन

भौतिक विज्ञान यह सिखाता है, कि वायुमंडल, यादृच्छिक रूप में (In Random Fashion) विचरण करते हुए असंख्य अणुओं से, संघटित होता है। ये अणु, विचरण करते हुए एक दूसरे से तथा वायुमंडल के स्पर्श में ठोस तलों के साथ टकराते हैं। विचरण की गति तापमान पर निर्भर करती है। वह औसत दूरी, जिस पर एक अणु दूसरे अणु से टकराने के पहले चलता है, उन्हीं निर्दिष्ट दशाओं में, अणु का **"औसत-स्वतंत्र-पथ"** (Mean Free Path) कहलाती है। सामान्य वायुमंडल के दवाव पर यह औसत-स्वतंत्र-पथ केवल 1/40,00,000 इंच होता है। इसका तात्पर्य यह है, कि एक औसत अणु अपने यादृच्छिक विचरण में दूसरे अणु से टकराने से पहले केवल 1/40,00,000 इंच चलेगा। ये दोनों अणु बिलियर्ड की गेंदों के सदृश आपस में टकराते हैं। टकराने के वाद, दोनों की दिशा तथा प्रवेग बदल जाते हैं।

शून्यक नाल में अधिकांश अणु बाहर पम्प कर निकाल दिये जाते हैं, और सापेक्षतया, नाल में कम अणु रह जाते हैं। आधुनिक शून्यक नालों में इनकी संख्या पहले की एक अरबवां भाग (10^{-9}) ही होती है। तब भी प्रति वर्ग इंच में लगभग 5 अरब अथवा उससे भी अधिक अणु रह जाते हैं; परन्तु, चूँकि वह इतने कम होते हैं, इसलिये गैस अणुओं अथवा आयनों (Ions) के बीच टकराने की औसत दूरी बहुत बढ़ जाती है। अधिकांश शून्यक नालों में, अत्यधिक शून्यक होने के कारण, यह पथ लगभग दो या तीन इंच तक का होगा। इलेक्ट्रॉन, गैस अणुओं की अपेक्षा बहुत छोटे होते हैं। इसलिये उनका स्वतंत्र-पथ, अथवा टक्कर के बीच औसत दूरी, गैस अणुओं की अपेक्षा 4 या 5 गुनी अधिक होगी। इस प्रकार, इनका औसत-स्वतंत्र-पथ लगभग 10 इंच तक होता है। अधिकांश शून्यक नालों में, नाल के विभिन्न भागों की दूरी, सामान्यत: 1 इंच के एक भाग से अधिक नहीं होती। इसलिये अधिकांश इलेक्ट्रॉन, नाल के एक भाग से दूसरे भाग को बिना गैस अणुओं से टकराये हुए जा सकते हैं। इस प्रकार यद्यपि प्रत्येक शून्यक नाल में गैस अणुओं की संख्या काफी होती है, तब भी, इलेक्ट्रॉनों का व्यवहार वास्तविक शून्यक के समान ही होता है। बिना आणुविक टक्करों की जटिलताओं के, इलेक्ट्रोनों की गति को नियंत्रित करने की यह योग्यता,

सामान्यतया वांछनीय होती है; और इसलिये उच्च-शून्यक नाल यथासंभव रिक्त कर लिये जाते हैं। सभी अवस्थाओं में, ये इतना काफ़ी रिक्त कर लिये जाते हैं, कि विश्वसनीय रूप से, औसत-स्वतंत्र-पथ, नाल अंशकों की दूरी से काफी अधिक होता है।

तापायनी-द्विरण (Thermoionic Emission)–इलेक्ट्रॉनों का प्रभव

अणुओं और इलेक्ट्रॉनों का ठोस पदार्थों में विचरण, गैसों में विचरण की अपेक्षा अत्यधिक आयन्त्रित रहता है। तथापि, अणु अपनी स्फटिक संरचना के अन्दर कम्पन करते हैं; और इलेक्ट्रॉन इधर-उधर टक्कर मारते फिरते हैं। परन्तु उनका सामान्य प्रवाह विद्युत् क्षेत्र की दिशा में ही होता है। जैसा पिछले अध्यायों में पर्यालोचित किया गया है, इलेक्ट्रॉनों का इस प्रकार का प्रवाह विद्युत धारा कहलाता है। क्षोभ (Agitation) अथवा विचरण का प्रवेग, संवाहक के तापमान पर निर्भर करता है, तथापि संवाहक का तल काफ़ी रोक उपस्थित करता है, जिससे सामान्य तापमान पर कोई इलेक्ट्रान तल के बाहर नहीं जा पाता।

तो भी उच्च तापमानों पर कुछ इलेक्ट्रॉनों का प्रवेग इतना अधिक होता है कि उनकी गतिज ऊर्जा उनको तल से बाहर ले जाती है। परिणामतः, गरम धातु के चारों ओर, इलेक्ट्रॉनों का बादल सा बन जाता है (लगभग उसी प्रकार जैसे पृथ्वी अपने वायुमंडल से घिरी रहती है)। अन्ततः, यह ऋणात्मक प्रभारित (Negatively Charged) इलेक्ट्रॉनों का वायुमंडल, धातु में उतने ही इलेक्ट्रॉन वापस भेज देगा (विद्युत बलों की प्रतिकर्षण क्रिया के कारण) जितने उच्च गतिज ऊर्जा के कारण उससे बाहर बच निकले थे। इस प्रकार साम्य संधारित रहेगा। गर्म वस्तु के चारों ओर, इस वायुमंडल को **वरिमा आवेश** (Space Charge) कहते हैं। एक टंगस्टन अंशु अथवा दूसरी वस्तु, जब एक धनात्मक आवेशित पट्टिका अथवा **उद्वोद** (Anode) वाले एक शून्यक नाल में रक्खी जाती है; और तब तक गर्म की जाती है, जब तक कि वह इलेक्ट्रॉनों का प्रभव न बन जाय, तो उसे **निद्वोद** (Cathode) कहते हैं।

तल के ऊपर, विभिन्न पदार्थों में आणुविक आकर्षण बल विभिन्न होते हैं। इसलिये इलेक्ट्रॉनों को, तल परातट (Surface Barrier) के बाहर जाने देने के लिये, पर्याप्त गतिज ऊर्जा देने के हेतु विभिन्न तापमान अपेक्षित होते हैं।

वाणिज्यिक निद्वोदों के प्ररूप

विस्तृत प्रयोगों के आधार पर तीन प्रकार के वाणिज्यिक निद्वोद विकसित किये गये हैं। पहला शुद्ध टंगस्टन अंशु है। यह उच्च तापमान पर प्रवर्तन करता है; और इसलिये इसे तापमान को संधारण करने के लिये काफ़ी अधिक ऊर्जा की आवश्यकता होती है। तथापि इसका मुख्य लाभ यह है, कि यह

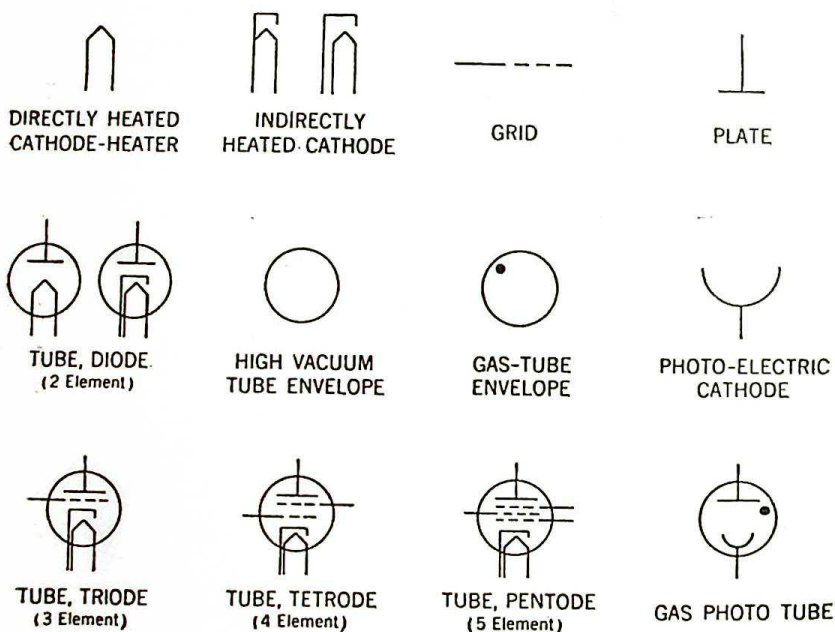
अत्यधिक मज़बूत होता है, और नाल प्रवर्तन के कारण उत्पन्न हो जाने वाले कतिपय धन आवेशित आयनों के प्रस्फोटन (Bombardment) से क्षत नहीं होता। इसलिये इसे उच्च वोल्टता नालों में प्रयोग किया जाता है, जहाँ इस प्रस्फोटन द्वारा दूसरे प्रकार के निद्वोदों को क्षत होने की संभावना होती है।

दूसरे प्ररूप का निद्वोद भी इसी के समान ही होता है। टंगस्टन अंशु को थोरियम ओषिद (Thorium Oxide) द्वारा व्यापित (Impregnate) कर दिया जाता है। थोरियम, धीरे-धीरे, अंशु के तल तक चला जाता है और उस पर एक आणुविक तह बना देता है, जो सापेक्षतया काफ़ी कम तापमान पर भी, काफ़ी अधिक इलेक्ट्रॉन प्रदाय का अनुमनन करती है। यद्यपि इस प्रकार का तल काफ़ी स्थाई होता है; परन्तु तब भी यह, उच्च वोल्टता नालों में पाये जाने वाले उच्च प्रवेग के धनात्मक आयनों द्वारा क्षत हो सकता है। इसलिये इस प्ररूप का निद्वोद, मध्यम वोल्टता नालों में ही प्रयोग किया जाता है।

तीसरे प्रकार का निद्वोद, जो अल्प वोल्टता नालों में प्रयुक्त होता है, बेरियम अथवा स्ट्रोन्शियम ओषिदों (Barium or Strontium Oxides) से लेपित किये हुए धातु तल का बना होता है। यह निद्वोद, सापेक्षतया, अल्प तापमान पर ही पर्याप्त स्वतंत्र इलेक्ट्रॉन प्रदाय करता है। इसलिये निद्वोद तापन परिपथ (Cathode Heating Circuit) में हानि बहुत कम होती है। परन्तु इस प्रारूप का निद्वोद, उच्च वेग के धन आयनों का प्रस्फोटन नहीं सहन कर सकता; और इसलिये केवल अल्प वोल्टता नालों में ही प्रयुक्त होता है। ओषिद लेपित निद्वोद, लगभग सभी रेडियो रिसीवर नालों में, तथा बहुत से मध्यम आकार के नालों में प्रयोग किये जाते हैं।

टंगस्टन तथा थोरियम व्यपित (Thoriated) टंगस्टन, साधारणतया, अंशु के रूप में होते हैं; और नाल परिपथ सीधे ही अंशु से युजित होता है। ओषिद लेपित निद्वोदों में अंशु के ऊपर ओषिद का लेपन करना संभव है; किन्तु सामान्यतः, अंशु अथवा तापन परिपथ को नाल परिपथ से विसंवाहित कर निकिल अथवा निकिल मिश्रातु (Nickel Alloy) के बाहुप में रक्खा जाता है। तब इस बाहुप के ऊपर ओषिद लेपन किया जाता है; और फिर बाहुप बाहरी परिपथ से एक अलग तार द्वारा युजित कर दी जाती है। इस प्ररूप में, तापक, निद्वोद से विसंवाहित होता है। इसलिये आवश्यकतानुसार विभिन्न नालों के तापकों को माला अथवा समानान्तर में युजित किया जा सकता है। इससे परिपथ प्ररचना में अधिक आनम्यता प्राप्त होती है और बिना ध्वनि अथवा संज्ञप्तियों में बाधा उत्पन्न किये, इसमें प्रत्यावर्ती धारा तापन प्रभाव के लिये उपयोग की जा सकती है।

शून्यक नालों का निरूपण करने वाले रूढ़िवादी चिह्न (Conventional Symbols for Representing Vacuum Tubes)--

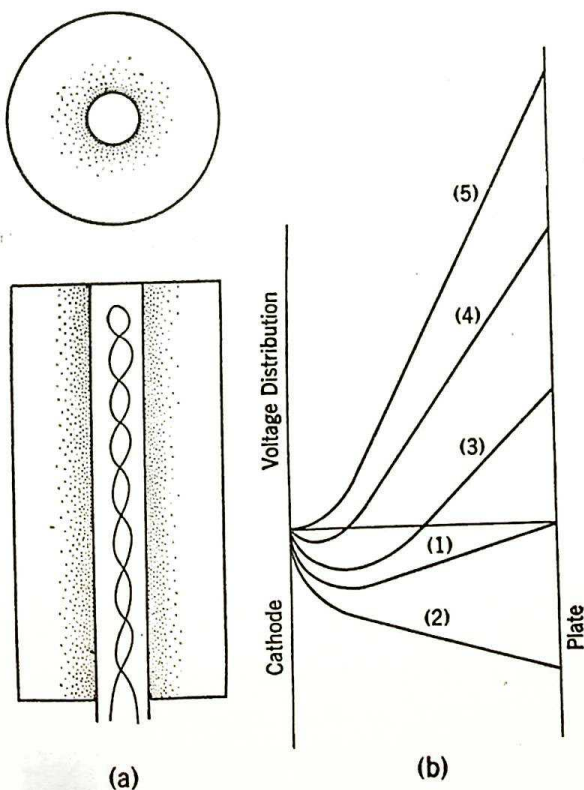
शून्यक नाल के मुख्य अंशक ये हैं :—पहला निद्वोद अथवा इलेक्ट्रॉन प्रभव ; दूसरा उद्वोद अथवा एक पट्टिका जिसकी ओर इलेक्ट्रॉन आकर्षित होते हैं ; तीसरा बहुधा एक या अधिक ग्रिड अथवा तार की जालियाँ जो इलेक्ट्रॉन प्रवाह का नियंत्रण करती हैं। ये सभी एक काँच या धातु के आवरण में सील होती हैं, जिसे बहुत कम दबाव तक रिक्त कर दिया जाता है। किसी परिपथ में युजनों को देशित करने के लिये यह आवश्यक होता है, कि कुछ रूढ़िवादी चिह्न प्रयोग किये जायँ। इन्हें चित्र 14-1 में दिखाया गया है।

चित्र 14-1 : **रूढ़िवादी परिपथ चिह्न**

उच्च शून्यक द्विओद नाल (High-Vacuum Diode Tubes)

सबसे सरल प्ररूप के इलेक्ट्रॉन नाल में एक निद्वोद अथवा इलेक्ट्रॉनों का प्रभव, तथा एक पट्टिका अथवा संवाहन तल होता है, जो अपनी धनात्मक ध्रुविता के कारण इन इलेक्ट्रॉनों को आकर्षित एवं एकत्रित करता है। निद्वोद, टंगस्टन अथवा थोरियम व्यापित टंगस्टन का बना हुआ अंशु के प्ररूप का हो सकता है ; अथवा ओषिद लेपन का प्रयोग करने वाला परोक्षतः तापित प्ररूप का हो सकता है। विद्युत परिपथ में, द्विओद का निष्पादन ज्ञात करने के लिये, और उसको अधिक लाभ के साथ प्रयोग करने के लिये, उसके लक्षणों का अध्ययन करना आवश्यक है। इसी प्रकार, त्रिओद तथा दूसरे अधिक जटिल नालों के निष्पादन का बुद्धि-

मत्ता पूर्वक निर्वचन करने के लिये भी द्विओद के व्यवहार की जानकारी भी आवश्यक है।

इलेक्टॉन वादल अथवा निद्वोद के चारों ओर वायुमंडल के निर्माण का वर्णन पहले किया जा चुका है और चित्र 14-2 (*a*) में निर्दशित किया गया है। ओषिद तह (Oxide Film) प्ररूप का, विसंवाहित अंशु द्वारा तापित, एक रम्भाकार वाहुप का प्रयोग करने वाला निद्वोद, धातु के रम्भ के मध्य में स्थित है। यह धातु रम्भ (Metal Cylinder), पट्टिका अथवा उद्वोद का काम करता है। इलेक्ट्रॉन का वादल, निद्वोद के पास घना और पट्टिका के पास आने तक पतला होता हुआ दिखाया गया है।

जब गर्म निद्वोद से एक इलेक्ट्रॉन का उत्सारण (Emission) होता है; तो उसका प्रवेग, उसको इस इलेक्ट्रॉनों के बादल के अन्दर ले जाता है। यह दूसरे इलेक्ट्रोनों के ऋणात्मक आवेशों द्वारा प्रतिकर्षित किया जाता है; और इस प्रकार प्रवेग खो बैठता है। उच्चतम प्रवेग वाले कुछ इलेक्ट्रॉन, बादल के मध्य तक पहुँच जाते हैं, परन्तु उनमें से अधिकांश वापस हो जाते ह और फिर निद्वोद में प्रवेश कर जाते हैं। यदि पट्टिका का शक्म धनात्मक हो तो 'इलेक्ट्रॉन

चित्र 14-2 : **द्विओद में वरिमा आवेश तथा वोल्टता वितरण**

बादल' के बाहरी ऋणि अथवा वरिमा आवेश के इलेक्ट्रॉन, पट्टिका की ओर आकर्षित हो जाते हैं। इलेक्ट्रॉनों की जड़ता के कारण इन्हें, पट्टिका तक पहुँचने में अल्प, किन्तु परिमित समय की आवश्यकता होती है। बाहर के ये इलेक्ट्रॉन, शीघ्र ही निद्वोद से उत्सारित हुए इलेक्ट्रॉनों द्वारा स्थानान्तरित हो जाते हैं।

इलेक्ट्रॉन का त्वरण, दूरी के साथ, क्षेत्र चंडता अथवा शक्म विचरण पर आश्रित होता है। यदि विभिन्न पट्टिका शक्मों के लिये, निद्वोद से पट्टिका तक शक्म विचरण का अध्ययन किया जाय, तो शून्यक नाल के निष्पादन के विषय में काफी सीखा जा सकता है। चित्र 14-2 (*b*) में निद्वोद और पट्टिका के बीच शक्म का विवरण दिखाने के लिये कई वक्र खींचे गये हैं। 1 नम्बर वाला वक्र पट्टिका पर शून्य वोल्टता की अवस्था को दर्शित करता है। इस अवस्था में लगभग सभी उत्सारित इलेक्ट्रॉन, निद्वोद में वरिमा आवेश के कारण वापस धकेल दिये जाते हैं। इसलिये, इलेक्ट्रॉन प्रवाह अथवा धारा प्राप्त नहीं होती।

जब पट्टिका पर ऋणात्मक वोल्टता आरोपित की जाती है—जैसा चित्र में 2 नम्बर के वक्र द्वारा दिखाया गया है) ; तो जो इलेक्ट्रॉन, वरिमा आवेश के मध्य के बीच से होकर निकल जाते हैं, उन्हें पट्टिका प्रतिकर्षित करती है, और इसलिये इलेक्ट्रॉन प्रवाह निश्चित रूप से रुक जाता है।

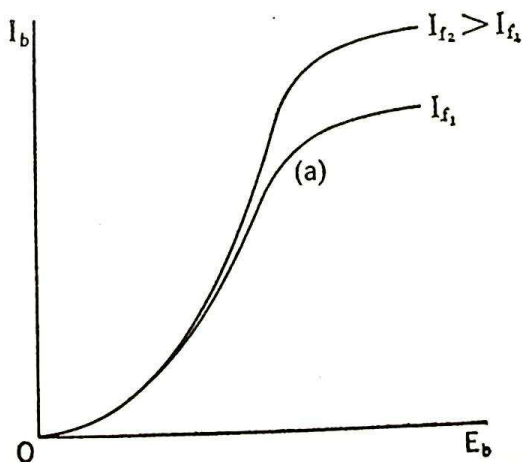
जब पट्टिका अथवा उद्वोद पर धनात्मक वोल्टता आरोपित होती है (वक्र 3 की भाँति) ; तब वरिमा आवेश के बाहरी भाग वाले इलेक्ट्रॉन, पट्टिका की ओर आकर्षित होते हैं और इलेक्ट्रॉन प्रवाह होने लगता है। इस प्रवाह का अर्थ, पट्टिका से निद्वोद की ओर धारा प्रवाह है।* जैसे-जैसे पट्टिका की वोल्टता उत्तरोतर उच्च मान तक बढ़ाई जाती है (वक्र 4 और 5 के अनुसार) ; वैसे-वैसे पट्टिका की ओर इलेक्ट्रॉनों का त्वरण बढ़ता जाता है, तथा वरिमा आवेश घटता जाता है। वस्तुतः जब पट्टिका की वोल्टता इतनी ऊँची हो जाती है, जितनी कि वक्र 5 में दिखाई गई है, तब वरिमा आवेश का लगभग पूर्णतया निरसन हो जाता है, और इलेक्ट्रॉन उत्सारित होते ही तुरन्त पट्टिका द्वारा आकर्षित कर लिये जाते हैं। यदि वोल्टता को इससे भी अधिक बढ़ाया जाता है, तो और अधिक धारा प्राप्त नहीं होती ; क्योंकि उत्सारित हुए सभी इलेक्ट्रॉन पहले ही पट्टिका की ओर आकर्षित होते रहते हैं।

इन घटनाओं के परिणाम, प्रयोग द्वारा भी अवलोकित किये जा सकते हैं। अंशु धारा के मान को स्थिर रखकर, पट्टिका वोल्टता क्रमशः बढ़ाई जाती है, और

---

* विद्युत में धन और ऋण ध्रुविताओं का वरण, इलेक्ट्रॉनों के अस्तित्व की जानकारी से पहले किया जा चुका था। इस स्वेच्छित चयन के कारण, धारा प्रवाह को धनात्मक दिशा, इलेक्ट्रॉन प्रवाह की दिशा के विपरीत हो गई है और इस प्रकार कुछ संभ्रम उत्पन्न हो गया है। इस पुस्तक में, धारा प्रवाह की आमापित शब्दावली प्रयोग की जायगी और इलेक्ट्रॉन प्रवाह को विशेष रूप से व्यक्त किया जायगा।

परिणामी धारा को माप लिया जाता है। I_{f1} की अंशु धारा पर, परिपथ धारा चित्र 14-3 के अनुसार विचरण करती हुई पाई जाती है। जब तक पट्टिका ऋणात्मक रहती है, तब तक धारा शून्य रहती है। वोल्टता की धनात्मक वृद्धि के साथ, धारा अपने क्रांतिक मान (Critical Value) तक निरंतर बढ़ती जाती है, और उसके बाद लगभग स्थिर हो जाती है। ये परिणाम, चित्र 14-2 के वरिमा आवेश तथा क्षेत्र के विश्लेषण से प्राप्त किये गये परिणामों की पुष्टि करते हैं। जिस समय धारा, उत्सारित इलेक्ट्रॉनों की संख्या द्वारा सीमित हो जाती है, उस समय नाल को तापमान अनुवेधित (Temperature Saturated) कहा जाता है।

यदि इस प्रयोग को अधिक अंशुधारा के मान पर दोहराया जाय, जिससे निद्रोद का तापमान बढ़ जाय तब पट्टिका वोल्टता के विरुद्ध, धारा का एक नया वक्र प्राप्त होगा ; जिसे I_{f_2} द्वारा देशित किया गया है। यह देखा जाता है, कि अधिकांश भाग में दोनों वक्रों के बीच का अन्तर बहुत कम होता है। (a) द्वारा चिह्नित भाग से पहले, इनकी अधिक विचलन की प्रवृत्ति नहीं होती। इस क्रांतिक परिणाम से कम पट्टिका वोल्टता पर, धारा मुख्यतः, वरिमा आवेश द्वारा ही नियंत्रित होती है। इससे अधिक वोल्टता पर, धारा मुख्यतः, उत्सारित हुए इलेक्ट्रॉनों की संख्या द्वारा नियंत्रित होती है। चूँकि अधिक तापमान के निद्रोद से अधिक उत्सारण होता है, इसलिये दूसरा वक्र अधिक धारा मान पर स्थिर होता है।

चित्र 14-3 : तापमान द्वारा द्विग्रोद धारा की परिसीमा

नाल क्षमता (Tube Rating)

इलेक्ट्रॉनों के पट्टिका तक पहुँचने पर इनका त्वरण काफ़ी अधिक हो जाता है, और इसलिये इसमें काफ़ी अधिक गतिज ऊर्जा होती है। प्रत्येक इलेक्ट्रॉन

की गतिज ऊर्जा पट्टिका एवं निद्वोद के बीच की वोल्टता के समानुपाती होती है। इन इलेक्ट्रॉनों द्वारा पट्टिका के गोलक्षेपण (Bombardment) से ताप उत्पन्न होता है और चूंकि नाल प्रवर्तन के लिये नाल का, सापेक्षतया, ठंढा रहना अपेक्षित होता है, इसलिये तापन के कारण धारा प्रवाह सीमित हो जाता है। इसलिये, वाणिज्यिक प्रयुक्तियों में धारा शून्यक नाल में शायद ही कभी तापमान अनुवेधन के मान तक पहुँचती है।

इस प्रकार द्विग्रोद, पर्याप्त वरिमा ग्रावेश के साथ प्रवर्तन करता है; और इलेक्ट्रॉन अपवहन अथवा धारा प्रवाह, पट्टिका वोल्टता तथा वरिमा ग्रावेश के बीच, संतुलन पर निर्भर करता है। पट्टिका वोल्टता तथा नाल में धारा प्रवाह, सामान्यतः, नाल को प्रयोग करने वाले परिपथ पर निर्भर करता है।

गैस नाल (Gas Tubes)

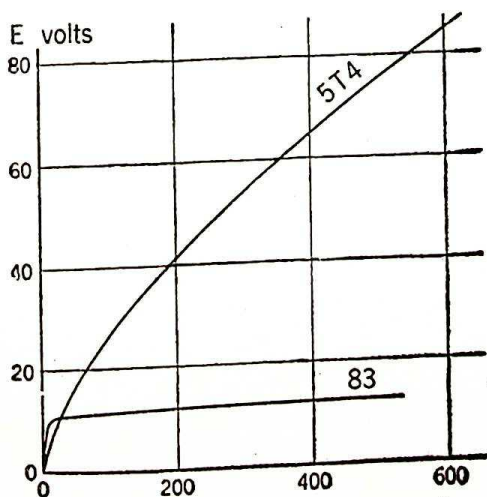
यद्यपि बहुत से नाल अत्यधिक वायु रिक्त होते हैं, किन्तु औद्योगिक प्रयुक्तियों के क्षेत्र में एक अन्य प्रकार की नाल भी अत्यधिक महत्व की होती जाती है। इन नालों में गैस की अल्प मात्रा रहने दी जाती है और इसलिये इन्हें गैस नाल कहा जाता है।

एक पिछले परिच्छेद में, गैस में अणुओं और इलेक्ट्रॉनों के विचरण का पर्यालोचन किया जा चका है। विद्युत क्षेत्र में, इलेक्ट्रॉन त्वरित हो जाते हैं; और इनका प्रवेग, उस वोल्टता अन्तर पर निर्भर करता है, जिसमें से इनका पतन होता है। इस प्रकार एक इलेक्ट्रॉन का प्रवेग, जिसका पतन 10 वो० के शक्म में से होता है, 1000 मील प्रति सेकेंड से कुछ अधिक होता है। 20 वो० में से पतन होने पर, इसका प्रवेग 1500 मील प्रति सेकेंड से अधिक हो जाता है। जब इलेक्ट्रॉन इतना उच्च प्रवेग प्राप्त कर लेता है, तब उसमें किसी एक गैस अणु में से एक इलेक्ट्रॉन को निकाल देने की क्षमता के लिये पर्याप्त ऊर्जा होती है। वह शक्मान्तर मान, जिसमें से किसी इलेक्ट्रॉन का पतन होना आवश्यक है, जिससे कि उसमें किसी गैस के सामान्य परमाणु को दारण (Disrupt) कर एक इलेक्ट्रॉन तथा धन आवेशित अयन उत्पन्न करने के लिये पर्याप्त गतिज ऊर्जा हो सके, गैस का अयनकारी शक्म (Ionizing Potential) कहते हैं। इलेक्ट्रॉन नाल में प्रयुक्त होने वाली गैसों के लिये यह अयनकारी शक्म, 10 से 20 वो० तक होता है।

नाल में गैस की मात्रा, नाल के प्रवर्तन को काफ़ी हद तक प्रभावित करती है। अधिक मात्रा में गैस रहने पर, औसत स्वतंत्र पथ की लम्बाई इतनी कम हो जाती है कि स्वतंत्र इलेक्ट्रॉनों को अयनकारी प्रवेग प्राप्त होने का अवसर नहीं मिलता। इसके पहले ही, वे किसी अणु से टकरा कर अपना प्रवेग खो बैठते हैं। गैस की मात्रा कम कर देने से औसत स्वतंत्र पथ की लम्बाई बढ़

जाती है, और कुछ इलेक्ट्रान अयनीकरण प्रवेग प्राप्त कर लेते हैं। ऐसा होने से, नाल के आरपार उसी वोल्टता पात के लिये, धारा का मान बढ़ जाता है। गैस दबाव को और भी कम कर देने से अयनकारी शक्म प्राप्त करने वाले इलेक्ट्रानों की संख्या बढ़ जाती हैं, और धारा प्रवाह भी बढ़ जाता है। यह विधायन तब तक चलता रहता है, जब तक औसत स्वतंत्र पथ की लम्बाई, निद्वोद एवं उद्वोद के बीच की दूरी के बराबर हो जाती है; अथवा दबाव के कम होने पर गैस अणुओं की संख्या इतनी कम हो जाती है, कि अयनकारी टक्करें बढ़ने की अपेक्षा घट जाती हैं। गैस नाल, अधिकतम अनकूल अयनकारी दशा (Optimum Ionizing Conditions) पर प्रवर्तन करने के लिये बनाये जाते हैं।

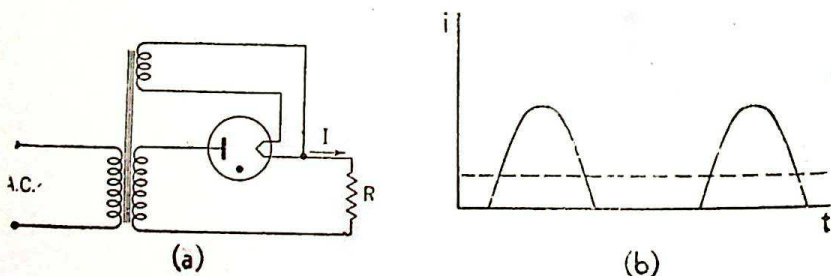
जब गैस नाल में गैस अयनित होती है; तब यह केवल धारा प्रवाह के लिये अतिरिक्त इलेक्ट्रान ही प्रदाय नहीं करती, वरन् काफ़ी संख्या में धन अयनों का भी प्रावधान करती है। ये अयन, इलेक्ट्रान की अपेक्षा अधिक भार के होने के कारण, निद्वोद की ओर सापेक्षतया धीरे-धीरे अपवहन करते हैं। ये धन अयन, वरिमा आवेश का निष्फलन करने का प्रयत्न करते हैं, और इस प्रकार इलेक्ट्रानों के पट्टिका की ओर के प्रवाह को सुगम बना देते हैं।

गैस की उपस्थिति के कारण, गैस नाल का धारा-वोल्टता लक्षण, उच्च शून्यक द्विश्रोद के लक्षण से बहुत भिन्न होता है। इसे चित्र 14-4 में दिखाया गया है; जिसमें उच्च शून्यक द्विश्रोद तथा पारा वाष्प द्विश्रोद (Mercury Vapour Diode) के धारा-वोल्टता लक्षण उसी चार्ट पर अंकित किये गये हैं। यह अवलोकित होगा, कि गैस नाल के लिये 12 वोल्ट के शक्मान्तर पर, वोल्टता में बिना विशेष वृद्धि हुए ही, धारा अनिश्चित रूप से बढ़ जाती है।

चित्र 14-4 : उच्च शून्यक (5T4) तथा गैस (83) ऋजुकारी नालों के पट्टिका लक्षण

ऋजकारियों में, द्विश्रोदों का प्रयोग विस्तृत रूप से होता है। चूंकि नाल के आरपार वोल्टता पात, हानि को निरूपित करता है, इसलिये गैस द्विश्रोद, उच्च शून्यक द्विश्रोद की अपेक्षा बहुत अधिक दक्ष होता है। धारा, भार के रोध द्वारा ही, सीमित होती है, और नाल के आरपार वोल्टता केवल उतनी ही होती है, जो अयनकारी शक्म को प्रदाय करने के लिये आवश्यक हो।

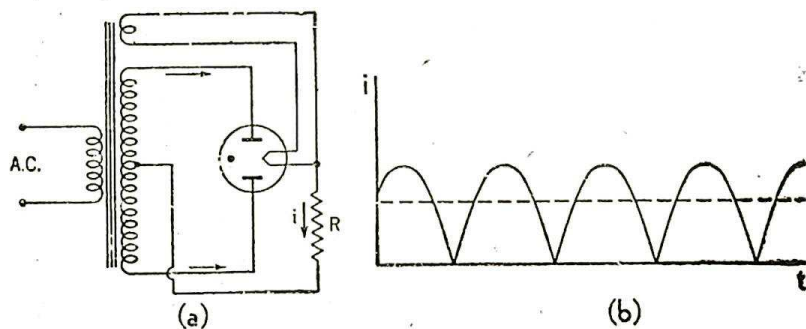
ऋजुकारी परिपथ (Rictifier Circuits)

विद्युत रासायनिक विधायन, प्र० धा० शक्ति लाइनों के आरपार प्रवर्तन करने वाली विचरणशील वेग मोटरें और दूसरे प्रकार के बहुत से विद्युत उपकरण इलेक्ट्रानिक ऋजुकारियों का प्रयोग करते हैं। इसलिये ये ऋजुकारी सर्व सामान्य इलेक्ट्रानिक युक्तियाँ हैं। ये ऋजुकारी, आकार में, एक इंच से भी कम व्यास के एक नाल से लेकर, 1 फुट या अधिक व्यास के 6 अथवा 12 नालों के एककों तक होते हैं। ये बड़ी नाल, प्रत्येक, कई हजार अम्पीयर तक की अव्यवहित धारा प्रदाय करती हैं। वास्तव में कुछ बड़े ऋजुकारी अधिष्ठापनों में बारह-बारह नालों के बारह एकक तक होते हैं, जो सब समानान्तर में प्रवर्तन करते हैं। इस प्रकार ये 144 बड़े द्विश्रोद प्रयोग करते हुए कहे जा सकते हैं। ऋजुकारी वोल्टता, छोटे उपकरणों के लिये अपेक्षित कुछ वोल्ट से लेकर, कोटरेल प्ररूप के निस्सादकों (Cotrell Type Precipitators) तथा केबिलों के परीक्षण के लिये आवश्यक, कई लाख वोल्ट तक विचरण करती है।

एकीफेज ऋजुकारी (Single Phase Rectifier)

चित्र, 14-5 : अर्ध तरंग ऋजुकारी

जब, चित्र 14-5 में दिखाये गये परिपथ की तरह के किसी परिपथ में केवल एक द्विश्रोद प्रयोग किया जाता है, तो उसे अर्ध तरंग (Half Wave) ऋजुकारी कहते हैं। यह, केवल उस अर्ध तरंग काल में ही धारा का पारण करता है जबकि पट्टिका, निद्वोद की अपेक्षा, धनात्मक होती है। चित्र 14-5 (*b*) में प्रदा धारा (Output Current) ज्यावर्ती आकृति वाले स्पन्दों के रूप में दिखाई गई है। यहाँ नाल में वोल्टता पात को नगण्य मान लिया गया है।

धारा का औसत मान बिन्दुकित रेखा द्वारा दिखाया गया है; और यह अधिकतम मान का $1/\pi$ अथवा 33 प्रतिशत है। अर्धतरंग ऋजुकारी बहुत कम प्रयोग किया जाता है, क्योंकि धारा का आवर्तिक (Periodic) अथवा स्पन्दनशील होना, साधारणतया, अपेक्षित नहीं होता।

जब दो द्विओद अथवा एक युग्म द्विओद (Double Diode) चित्र 14-6 में दिखाए जैसे किसी परिपथ में प्रयोग किये जाते हैं, तब एक पूर्ण रंग ऋजुकारी प्राप्त होता है। (युग्म द्विओद में दो उद्वोद तथा एक निद्वोद होता है)। इससे प्राप्त होने वाली धारा, चित्र 14–6 (*a*) में दिखाई धारा के अनुरूप होती है; जो यद्यपि पूर्णतया अव्यवहित नहीं होती, परन्तु अर्ध तरंग ऋजुकारी से प्राप्त धारा की अपेक्षा कहीं अधिक अव्यवहित होती है।

चित्र 14–6 : **पूर्ण तरंग ऋजुकारी**

इस परिपथ में, परिवर्तित्र द्वितीयक में एक मध्य निसूत्रक का प्रावधान होता है। भार में धारा, एक ही दिशा में प्रवाहित होती है, किन्तु परिवर्तित्र में पहले एक दिशा में और फिर उसकी विपरीत दिशा में प्रवाहित होती है। इस प्रकार परिवर्तित्र में सामान्य प्र० धा० का ही प्रवाह होता है। भार में औसत धारा मान, उसी वोल्टता वाले अर्धतरंग ऋजुकारी की अपेक्षा, दुगना होता है। यह अधिकतम मान का $2/\pi$ अथवा 64 प्रतिशत होता है।

बहुफेजी ऋजुकारी (**Polyphase Rectifier**)

बहुफ़ेज़ी वोल्टता के उपलब्ध होने पर, अधिक द्विओद प्रयोग करना संभव है, और इस प्रकार अधिक धारा वाहन धारिता तथा अधिक एकसम वोल्टता प्राप्त करना संभव है। त्रिफ़ेज़ शक्ति प्रभव में, परिवर्तित्र द्वितीयकों को Y-युजित कर के चित्र 14-7 के अनुसार युजन किया जाता है। चूंकि, रोध के आरपार वोल्टता, धारा प्रवाह के समानुपात में होती हे; इसलिये भूमि के सापेक्ष, निद्वोदों की वोल्टता भी धारा प्रवाह के अनुपात में होगी। यह, चित्र 14-7 (*b*) में दिखाया गया है। किसी भी द्विओद में धारा तभी प्रवाहित

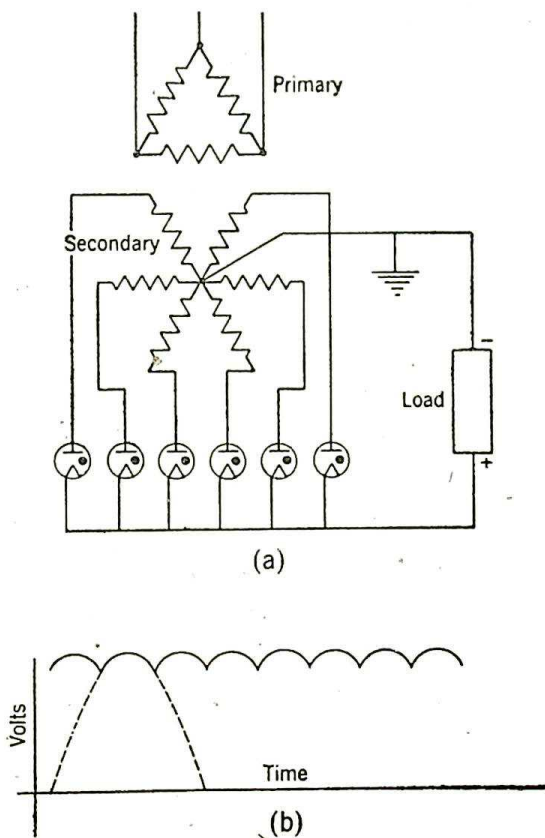
होती है, जब उद्वोद, निद्वोद की अपेक्षा, अधिक धनात्मक हो। त्रिफ़ेज़ परिपथ में, किसी क्षण पर धारा केवल उसी उद्वोद में प्रवाहित होती है, जो कि उस क्षण पर और दोनों की अपेक्षा अधिक धनात्मक हो। एक उद्वोद में धारा प्रवाह की यह अवधि $\frac{1}{3}$ चक्र होती है। इसलिये प्रत्येक नाला में धारा प्रवाह केवल $\frac{1}{3}$ काल में ही होता है। चूंकि, उद्वोदों का तापन, औसत धारा के अनुपात में होता है, इस कारण, उसी प्ररूप की नाल प्रयोग करते हुए, एकीफ़ेज़ ऋजुकारी की अपेक्षा, त्रिफ़ेज़ ऋजुकारी, तीन गुनी धारा वहन कर सकते हैं। इस प्रकार, इसमें औसत वोल्टता और धारा, अधिकतम मान के 93 प्रतिशत हैं।

14-7 : सरल त्रिफ़ेज द्विओद ऋजुकारी

जब 6 द्विओदों के साथ, चित्र 14-8 जैसा परिवर्तिक युजन प्रयुक्त होता है, तो एक षडफ़ेज़ी (6-phase) ऋजुकारी प्राप्त होता है। चूंकि इसमें प्रत्येक नाल, चक्र के $\frac{1}{6}$ भाग तक ही भारा वहन करती है, इसलिये ऋजुकारी की धारिता, सभी नालों की औसत धारा वाहन धारिता के योग के बराबर होती है। इस प्रकार, औसत वोल्टता तथा धारा, अपने अधिकतम मान के 95 प्रतिशत हो जाते हैं।

धारा तथा वोल्टता के उच्चावचन (Fluctuation) में कमी, बहुफ़ेज़ी परिपथों का एक महत्त्वपूर्ण लाभ है। वस्तुतः, कुछ ऋजुकारियों में, 12 फ़ेज़ के परिवर्तिक युजन भी किये जाते हैं। इस दशा में और भी अधिक एकसम वोल्टता प्राप्त होती है।

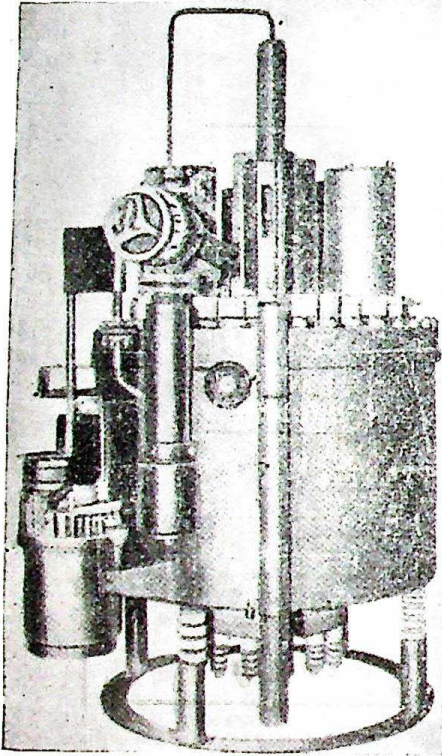
उपर्युक्त निष्कर्ष इस कल्पना पर आधारित हैं, कि नालों में वोल्टता पात, कुल वोल्टता की तुलना में बहुत कम होता है। जब 10 से 15 वोल्ट तक का

नाल वोल्टता पात, कुल वोल्टता का उपागण्य भाग हो तो परिशुद्ध परिणाम प्राप्त करने के लिये, विश्लेषण में कुछ शोधन की आवश्यकता होगी।

चित्र 14-8 : **सरल षड्फेजी द्विओद ऋजुकारी**

पारद-चाप ऋजुकारी (Mercury-Arc Rectifiers)

इलेक्ट्रानिक ऋजुकारी का प्राचीनतम प्ररूप, पारद चाप ऋजुकारी है। इस प्ररूप में, पारद का ताल (Mercury Pool) निद्वोद का कार्य करता है। एक सहाय-स्पर्शक (Auxiliary Contact) के द्वारा चाप खींचने पर, यह ताल इलेक्ट्रानों का प्रभव बन जाता है। चाप, एक बार आरम्भ होने के पश्चात्, कई विद्योदों में से किसी एक में प्रवाहित धारा के कारण, संधृत (Maintained) रहता है। ये विद्योद, बारी-बारी से, नाल में से निरंतर धारा लेते रहते हैं। चाप-श्रोत (Arc Stream) के धन अयन, पारद तल का निरंतर गोल क्षेपण करते रहते हैं। इसके कारण पारद तल का तापमान बढ़ जाता है, और यह इलेक्ट्रानों का प्रभव बन जाता है। प्रभव प्ररूप के नाल का मुख्य लाभ यह है, कि

पारद ताल, इलेक्ट्रानों की अपरिमित संख्या प्रदाय करता है, और इसलिये नाल काफ़ी अधिक धारा वहन कर सकता है।

पारद चाप ऋजुकारी बड़े आकारों में बनाये जाते हैं; और सामान्यतः, एक पारद ताल के लिये 3, 6 अथवा और अधिक उद्वोद भी हो सकते हैं। चित्र 14-9 में एक बड़ा इस्पात टंकी ऋजुकारी (Steel Tank Rectifier); और चित्र 14-10 में एक उद्वोद ऋजुकारी का युजन रेखाचित्र दिखाया गया है।*

14-9 : धातु टंकी उच्च वोल्टता पारद चाप ऋजुकारी

गैस नाल ऋजुकारियों का प्रवर्तन

यद्यपि ऋजुकरण के लिये, गर्म निद्वोद गैस नाल, शून्यक नाल की अपेक्षा अधिक दक्ष होती है; तथापि वह इतनी उच्च प्रतिलोम (Inverse) वोल्टतायें सहन नहीं कर सकतीं। पट्टिका से निद्वोद की दिशा में, उच्च वोल्टता कुछ अयनन उत्पन्न कर सकती है। ऐसी दशा में, नाल विपरीत दिशा में धारा वहन कर सकता है; जिस के कारण, बहुफ़ेज़ी ऋजुकारियों में लघुपरिपथन हो सकता है। इस कारण, अति उच्च वोल्टताओं के लिये, सामान्यतः, शून्यक नाल द्विओद ही प्रयोग किये जाते हैं।

गैस नाल के प्रयोग करने पर, पट्टिका वोल्टता आरोपित करने से पहले, निद्वोद को सामान्य तापमान तक गरम होने दिया जाता है। यदि, ठंढे निद्वोद की स्थिति में ही पट्टिका वोल्टता आरोपित कर दी जाय, तो सामान्य धारा प्रदाय करने के लिये, इलेक्टानों की संख्या अपर्याप्त होगी, और नाल के आर-पार अत्यधिक शक्म

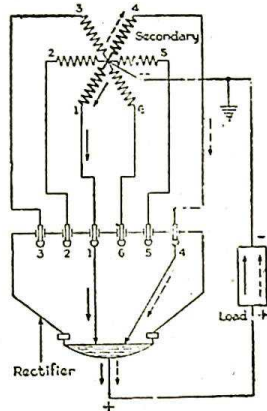
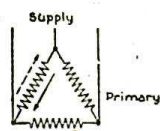
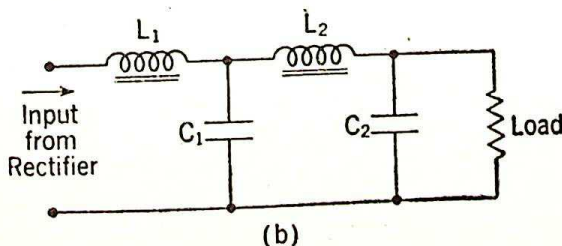
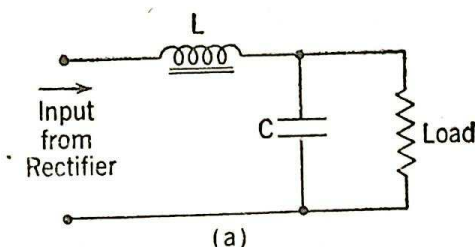
* बहुफ़ेज़ी ऋजुकारियों का अधिक पर्यालोचन सोलहवें अध्याय में दिया गया है; जहां पर इग्निट्रॉन(Ignitron) का ऋजुकरण के लिये उपयोग भी समझाया गया है। स्वयं इग्निट्रॉन का पर्यालोचन पंद्रहवें अध्याय में किया गया है।

विकसित हो जायगा। इसके कारण, धन अयन इतने अधिक त्वरित हो जायँगे, कि वे निद्वोद के ओषिद लेपन को क्षत कर देंगे।

चित्र 14-10 : 6 उद्वोद पारद चाप ऋजुकारी का युजन रेखा चित्र

फिल्टर परिपथ (Filter Circuits)

यद्यपि बहुत-सी औद्योगिक प्रयुक्तियों के लिये, केवल एकीफ़ेज़ द्वारा प्राप्त वोल्टता भी संतोषप्रद होती है; परन्तु कुछ उपकरणों तथा रेडियो प्रसारण (Radio-Communication) के लिये अधिक एकसम वोल्टता वांछनीय होती है। इसे ऋजुकारियों के साथ फ़िल्टर परिपथ लगाकर प्राप्त किया जाता है। ये फ़िल्टर परिपथ, प्ररोचकों और धारित्रों अथवा रोधकों और धारित्रों से बने होते हैं।

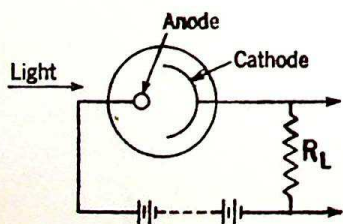
सबसे सामान्य फ़िल्टर, प्ररोचकों तथा धारित्रों से संघटित होते हैं; जैसा चित्र 14-11 में दिखाया गया है। जब तक धारा स्थिर रहती है, तब तक प्ररोचिता में (बहुत कम रोध होने के कारण) बहुत कम वोल्टता पात होता है। तथापि, धारा में परिवर्तन होने पर प्ररोचिता में, परिवर्तन का विरोध करनेवाली वोल्टतायें स्थापित हो जाती है। ये वोल्टता विचरण का समकरण करने का प्रयत्न करती है, और इस प्रकार भार में अधिक एकसम धारा उत्पन्न करती है।

14-11 : चोक-आदा फ़िल्टर परिपथ (*a*) एकी प्रभाग (*b*) दो प्रभाग

किन्तु फिर भी, भार के ऊपर थोड़ा वोल्टता विचरण मिलेगा। धारित्र के भार के समानान्तर में होने के कारण, कुछ भी वोल्टता विचरण से, धारित्र परिपथ में एक धारा प्रवाहित होगी। धारित्र में ये धारायें भार के आरपार वोल्टता का और अधिक स्थायीकरण करने का प्रयत्न करेंगी और इस प्रकार, सामान्यतः, संतोषजनक भार वोल्टता प्राप्त होगी।

जिन अवस्थाओं में बहुत परिशुद्ध वोल्टता स्थायीकरण अपेक्षित हो, उनमें एक दूसरा फ़िल्टर प्रभाग जोड़ दिया जाता है, जैसा चित्र (14-11) में दिखाया है। प्रत्येक प्रभाग, अपने में से, वोल्टता उर्मिका (Ripple) के अल्प प्रतिशत का ही पारण करने देगा। उदाहरणतया, यदि एक प्रभाग, वोल्टता उर्मिका के 5 प्रतिशत का ही पारण करता है; तब दो प्रभाग मिलकर, वोल्टता उर्मिका के केवल $\frac{1}{4}$ प्रतिशत का ही पारण करेंगे। चूंकि ऊर्मिका वोल्टता, अ० धा० वोल्टता से बहुत कम होती है; इसलिये एक एकीफ़ेज़ ऋजुकारी में भी, एक फ़िल्टर प्रभाग, सामान्यतः, ऊर्मिका वोल्टता को, अ० धा० वोल्टता के मान के प्रतिशत तक कम कर देगा।

प्रकाश नाल (Phototube)

दो अंशक वाली नालों में प्रकाश नाल बहुत उपयोगी होती है। यह प्रकाश के गिरने पर संवाहन शील हो जाती हैं। कुछ पदार्थ, अपने ऊपर प्रकाश के गिरने पर, इलेक्ट्रान उत्सारित करने लगते हैं। यह गुण, प्रकाश नाल के निर्माण में उपयोग किया जाता है। निद्वोद, प्रकाश-हृष-पदार्थ (Light Sensitive Material) का एक बड़ा तल होता है; तथा उद्वोद, धातु का एक दण्ड होता है, जो प्रकाश हृष नहीं होता। ये दोनों, एक रिक्त कांच के आवरण (Evacuated Glass Envelope) में लगे होते हैं। उद्वोद पर एक धनात्मक शक्म आरोपित किया जाता है। परिपथ, चित्र 14-12 में दिखाया गया है। धारा प्रवाह, नाल पर प्रभासन की चंडता (Intensity of Illumination) के समानुपात में होता है। प्रकाश चंडता में विचरण, भाररोध पर वोल्टता विचरण के रूप में प्रकट होते हैं, जो प्रवर्धन (Amplify) करने के बाद थायरेट्रॉन नाल (Thyratron Tube) को ट्रिगर (Trigger) करने के काम में लाये जा सकते हैं। इनका अध्ययन सोलहवें अध्याय में किया जाएगा।

चित्र 14-12 प्रकाश नाल का परिपथ

प्रकाश नाल, उच्च शून्यक तथा गैस नाल दोनों प्ररूपों के बनाये जाते हैं। अधिक वायुरिक्त होने पर, वे अधिक स्थायी होते हैं, और अधिक शीघ्रता से प्रतिचारण करते हैं। गैस नाल का लाभ, अयनन के कारण, उसी उत्सारण पर अधिक

धारा विकसित करने की योग्यता में है। इसलिये यह कुछ अधिक हृप होता है। यह नाल बहुत से उपयोगी नियंत्रण प्रकार्यों के लिये प्रयोग होते हैं, जैसे द्वार खोलना, गिनना, क्रमित करना, छापे में ठीक-ठीक रजिस्टर संधारण रखना, सुरक्षा युक्तियों को प्रवर्तित करना तथा अन्य इसी प्रकार के काम।

विभा नाल (Glow Tube)

पर्यालोचित किया जाने वाला अन्तिम द्विओद, विभा नाल है। यह नाल, गैस से भरा होता है, और इसमें निद्वोद ठंढा होता है। ठंढे निद्वोद तल से, इलेक्ट्रान, उच्च शक्म प्रावण्य (High Potential Gradient) अथवा निद्वोद पर वोल्टता अन्तर के द्वारा खींच लिये जाते हैं।

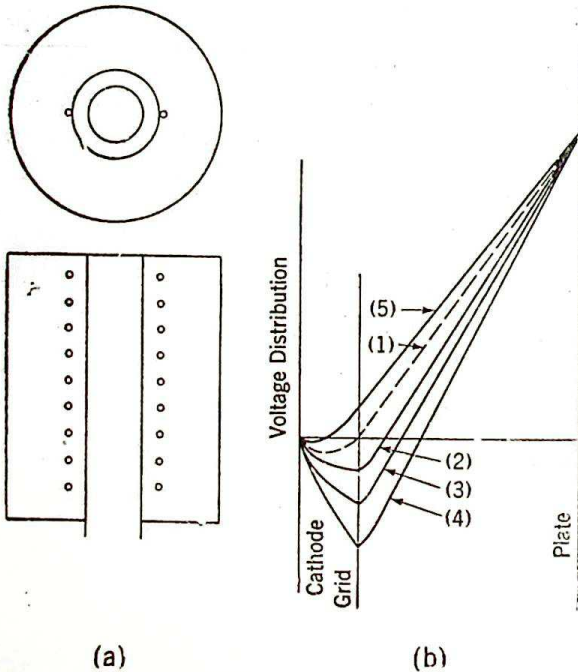
चित्र 14-13 : **यामित वोल्टता प्रयाय**
Unregulated Input=अयामित आदा
Regulated Output=यामित प्रदा

चूंकि इलेक्ट्रान उत्सारण के लिये, वोल्टता के क्रांतिक मान की आवश्यकता होती है, इसलिये विभा नाल, वोल्टता नियंत्रक नाल के रूप में उपयोगी होता है। दूसरे शब्दों में, काफी धारा विचरण होने पर भी यह एकसम वोल्टता संधारण करेगा। यह, चित्र 14-13 के परिपथ में दिखाया गया है, जिसमें नाल के आर-पार की वोल्टता, आदा वोल्टता तथा धारा में पर्याप्त विचरण होने पर भी एकसम रहेगी। धारा के विचरण से, ये वोल्टता विचरण, रोध R के आरपार वोल्टता पात में अवशोषित कर लिये जाते हैं। इलेक्ट्रॉनिक नियंत्रण युक्तियों में, ऐसी एकसम वोल्टता, प्रभव वोल्टता में पर्याप्त विचरण होने पर भी, एकसम वोल्टता प्रदाय संधारित करने के लिये, प्रेष्ठि वोल्टता (Reference Voltage) के रूप में प्रयोग की जाती है। वेग नियंत्रण तथा दूसरे औद्योगिक नियंत्रण प्रवर्तनों में भी, इसे, स्थिर निर्देश के रूप में प्रयोग किया जा सकता है।

पन्द्रहवाँ अध्याय

इलेक्ट्रॉन नाल और परिपथ
(त्रिओद तथा दूसरे बहु अंशक नाल)

शून्यक नाल त्रिओद की रचना और प्रवर्तन

द्विओद में यह पाया गया था, कि वरिमा आवेश धारा प्रवाह को काफ़ी प्रभावित करता है। यदि निद्वोद तथा पट्टिका के बीच सापेक्षतया अधिक अन्तर पर स्थित सूक्ष्म तारों का बना हुआ एक तीसरा नाल अंशक रख दिया जाय; तो इस अंशक की वोल्टता में अल्प विचरण के द्वारा ही, वरिमा आवेश के घनत्व तथा धारा प्रवाह का नियंत्रण करना संभव है। आरम्भ में बनाये गये नालों में, इस तीसरे अंशक की बनावट एक ग्रिडायरन (Gridiron) जैसी थी, और इसलिये इसको ग्रिड कहा जाता था। अंशक के संरचित रूप (Structural Form) के बदले जाने पर भी यही नाम चला आता है।

चित्र 15-1 : त्रिओद में वोल्टता विभाजन

चित्र 15-1 में, चित्र 14-2 के द्विओद के समान ही एक नाल दिखाया गया है। इसमें, निद्वोद, बोरियम अथवा स्ट्रॉन्शियम ओषिद द्वारा लेपित गर्म निकिल

का एक रम्भ होता है। पट्टिका भी रम्भाकार होती है, जिसकी ध्रुविता धनात्मक होती है। इसके अतिरिक्त, इसमें, निद्वोद के चारों ओर, एक भ्रमिपथ तार (Helical Wire) की ग्रिड होती है। चित्र 15-1 (*b*) में शक्म विभाजन देशित करने वाली बिन्दुकित रेखा, चित्र 14-2 में वक्र (4) के तदनुरूप है। यदि ग्रिड निद्वोद के शक्म पर हो, जैसा वक्र (4) द्वारा देशित किया गया है, तो इसका धारा प्रवाह पर कोई भी प्रभाव नहीं होगा। परन्तु यदि इसका शक्म अधिक ऋणात्मक कर दिया जाय, तो यह वरिमा आवेश के इलेक्ट्रॉनों को प्रतिकर्षित करने लगेगी; और इस प्रकार यह इलेक्ट्रॉन प्रवाह को कम कर देगी।

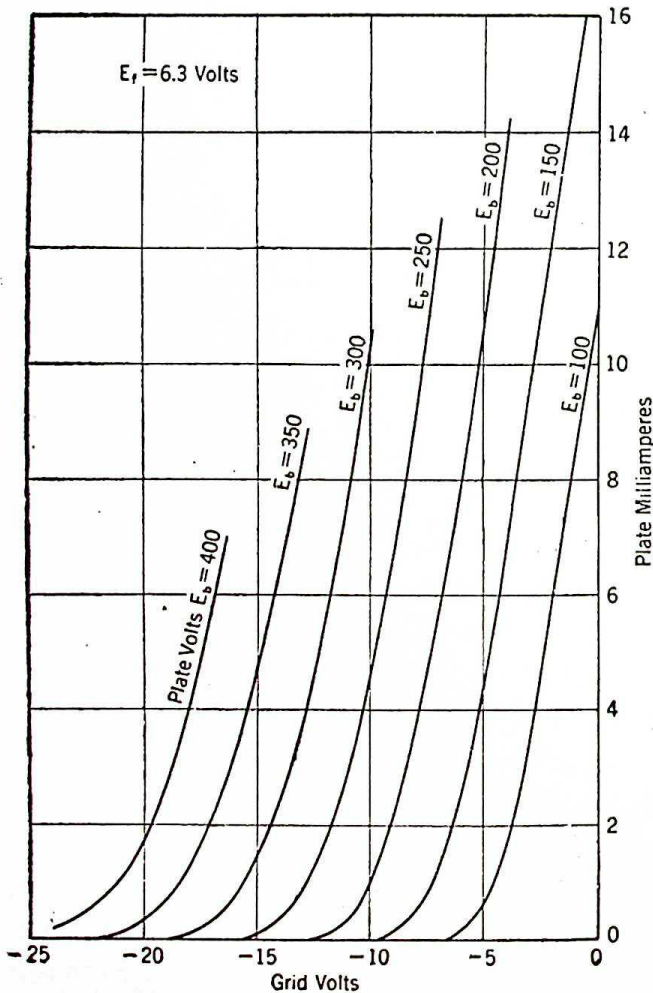
ग्रिड तारों के बीच काफ़ी अन्तर होता है; और इसलिये अल्प ऋणात्मक शक्मों के लिये ग्रिड के निकटवर्ती इलेक्ट्रॉन, प्रतिकर्षित होंगे परन्तु ग्रिड तारों के बीच के इलेक्ट्रांन लगभग उसी प्रकार व्यवहार करेंगे जैसा पहले करते थे। ग्रिड तारों के बीच में से वरिमा आवेश को उसी प्रकार वर्धित (Bulging) समझा जा सकता है, जैसे चटाई के अंश।

चित्र 15-2 : त्रिओद लक्षण ज्ञात करने के लिये परिपथ

अधिक परिशुद्धता से, इसे, इस प्रकार कहा जा सकता है, कि ग्रिड तारों के बीच के स्थान की ओर निर्देशित, उच्च वेग के इलेक्ट्रान, ग्रिड द्वारा कुछ व्याकोचित (Deflected) तो हो सकते हैं, परन्तु वापस नहीं भेजे जा सकते। मन्द गति वाले इलेक्ट्रान, इतने अधिक व्याकोचित हो जायेंगे, कि वे वरिमा आवेश में वापस हो जायँगे। जैसे-जैसे ग्रिड और अधिक ऋणात्मक होता जाता है, बहुत से उच्च वेग के इलेक्ट्रान भी काफी व्याकोचित हो जाते हैं, जिससे वह वापस लौट जाते हैं, और इलेक्ट्रान प्रवाह कम होता जाता है। अन्त में ग्रिड इतनी ऋणात्मक हो जाती है, कि सभी इलेक्ट्रान वापस कर दिये जाते हैं, और प्रवाह बिल्कुल समाप्त हो जाता है। जब ग्रिड को वक्र (1) में दिखाए गए शक्म से भिन्न शक्म दिया जाता है, तो शक्म विभाजन बिल्कुल बदल जाता है, जैसा वक्र (2), (3), (4) और (5) में दिखाया गया है। यद्यपि ये वक्र, ग्रिड शक्म का च्यावी लक्षण (Leaky Character) अथवा प्रगामी क्रिया (Progressive Action) देशित नहीं करते, परन्तु वे वरिमा आवेश पर उसका औसत प्रभाव अवश्य दिखाते हैं।

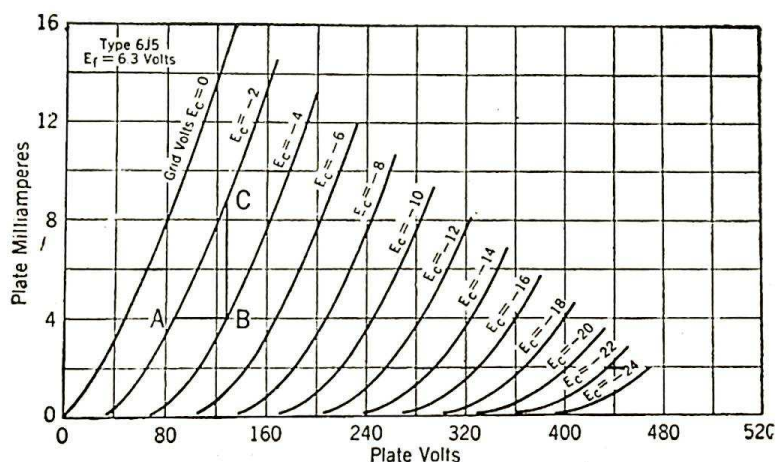
चूंकि ग्रिड, निद्वोद के निकट ही स्थित होती है, इसलिये उसके शक्म में परिवर्तन का धारा प्रवाह पर कहीं अधिक प्रवाह होगा; और पट्टिका पर उतना ही शक्म परिवर्तन आरोपित करने का प्रभाव, इतना नहीं हो सकेगा। ये सम्बन्ध, त्रिओद के लक्षण वक्रों द्वारा प्रदर्शित किये गये हैं।

त्रिओदों के लक्षण (Characteristic Curves of Triodes)

चित्र 15-3 में दिये गये परिपथ के अनुसार, पट्टिका तथा ग्रिड वोल्टता के विचरण से पट्टिका अथवा उद्वोद धारा के विचरण का अध्यन किया जा सकता है।

15-3 : त्रिओद का पारस्परिक लक्षण

ग्रिड वोल्टता में परिवर्तन का प्रभाव मालूम करने के लिये पट्टिका वोल्टता E_b स्थिर रक्खी जाती है, तथा ग्रिड वोल्टता E_c का विचरण किया जाता है।

ग्रिड वोल्टता तथा पट्टिका धारा के बीच का सम्बन्ध, जिसे **पारस्परिक लक्षण** (Mutual Characteristic) भी कहते हैं, एक ग्राफ़ पर अंकित किया गया है। चित्र 15-3 में, ऐसे पारस्परिक लक्षणों का एक क्रम दिखाया गया है। इनमें से प्रत्येक की, स्थिर पट्टिका वोल्टता भिन्न है। वक्रों के बीच अन्तर्वेश करके, पट्टिका तथा ग्रिड वोल्टता के किसी भी संयोजन पर, पट्टिका धारा ज्ञात करना संभव है।

प्रवर्तन परास के अधिकांश भाग में, ये वक्र सीधी रेखाएँ हैं। इसलिये यह कहा जा सकता है, कि पट्टिका धारा विचरण, ग्रिड वोल्टता विचरण के लगभग समानुपाती होता है। त्रिओद के इस लक्षण के कारण, यह प्रवर्धक (Amplifier) में बहुत उपयोगी होता है; जैसा बाद में स्पष्ट किया जायगा।

चित्र 15-4 : **त्रिओद के पट्टिका लक्षण**

चित्र 15-3 में दी गई जानकारी, पट्टिका वोल्टता के विचरण को पट्टिका धारा में विचरण के विरुद्ध अंकित करके भी दिखाई जा सकती है; जब ग्रिड वोल्टता एकसम रक्खी जाय। ऐसे वक्रों का कुलक, चित्र 15-A में दिखाया गया है; और ये **पट्टिका लक्षण** (Plate Characteristics) कहलाते हैं। कुछ अवस्थाओं में पारस्परिक लक्षण अधिक सुगम होते हैं, परन्तु शून्यक नाल त्रिओदों की अधिकांश संगणनाओं के लिये, पट्टिका लक्षण ही अधिमनित किये जाते हैं।

नाल लक्षण (Tube Characteristics)

यद्यपि ऊपर पर्यालोचित वक्रों के कुलक, नाल निष्पादन के विश्लेषण में बहुधा प्रयोग किये जाते हैं, परन्तु तब भी कभी-कभी कुछ प्राचलों (Parameters) को जिन्हें नाल लक्षण कहते हैं, प्रयोग करना अपेक्षित होता है। ये **प्रवर्धन खण्ड** (Amplifiction Facator), **पारस्परिक संवाहिता** (Mutual Conductance)

or Transconductance) और **आन्तरिक अथवा पट्टिका रोध** (Internal) or Plate Resistance) कहलाते हैं।

प्रवर्धन खण्ड, पट्टिका वोल्टता में परिवर्तन का, और पट्टिका धारा का स्थिर परिणाम संधारण करने के लिये आवश्यक, ग्रिड वोल्टता में परिवर्तन का, अनुपात होता है। इसे, सामान्यतः; यूनानी अक्षर μ से संबोधित तथा चिह्नित किया जाता है। इस प्रकार स्थिर पट्टिका धारा के लिये : $\mu = \frac{\delta E_b}{\delta E_b}$

चित्र 15-A का उल्लेख करते हुए A से B की दूरी, ग्रिड वोल्टता में 2 वोल्ट के परिवर्तन का निष्फलन करने के लिये आवश्यक 40 वोल्ट के पट्टिका वोल्टता विचरण को निरूपित करती है। इसलिये इस नाल का प्रवर्धन खण्ड 29 होगा। अधिकांश त्रिओदों में प्रवर्धन खण्ड, 10 से 40 तक होता है। तथापि विशेष नालों का प्रवर्धन खण्ड इस परास से काफी अधिक हो सकता है।

पारस्परिक संवाहिता चिह्न g_m से देशित की जाती है। यह, पट्टिका धारा में अल्प परिवर्तन तथा उसको उत्पन्न करने वाली ग्रिड वोल्टता में अल्प परिवर्तन का अनुपात होती है। इस प्रकार स्थिर पट्टिका वोल्टता के लिये,

चित्र 15-4 में, पट्टिका धारा में 5 मिली अम्पीयर का परिवर्तन B-C से निरूपित किया गया है; और 2 वोल्ट की ग्रिड वोल्टता के कारण हुआ है।

$$g_m = \frac{0.005}{2} = 0.0025 \text{ mho}$$

दशमलव मानों को हटाने के लिये, अधिकांश नालों की पारस्परिक संवाहितायें माइक्रो मो (Micro mho) में दी जाती है। इस प्रकार, चित्र 15-4 में दिखाए गए नाल की पारस्परिक संवाहिता, 2500 माइक्रो मो होगी। यह स्थिरांक, ग्रिड की, पट्टिका धारा को नियंत्रित करने की क्षमता का द्योतक है।

आन्तरिक पट्टिका रोध, r_p से चिह्नत किया जाता है। इसकी परिभाषा पट्टिका वोल्टता में अल्प परिवर्तन, तथा उसके परिणामस्वरूप पट्टिका धारा के परिवर्तन के अनुपात द्वारा की जाती है। इस प्रकार स्थिर ग्रिड वोल्टता के लिये,

$$r_p = \frac{\delta E_b}{\delta I_p}$$

चित्र 15-4 में, पट्टिका के 40 वोल्ट (A से B तक) के परिवर्तन के कारण, पट्टिका धारा में मिलि अम्पि० का परिवर्तन होता है। इसलिये

$$r_p = \frac{40}{0.005} = 8000 \text{ ओम}$$

उपर्युक्त परिभाषाओं से यह स्पष्ट है कि :

$$\mu = r_b \times g_m$$

इसलिये यदि कोई भी दो नाल-लक्षण ज्ञात हों तो तीसरे का ज्ञात करना संभव है ।

ये नाल लक्षण, अनुभवी इंजीनियर को, किसी परिपथ में प्रयोग किये जाने वाले नाल की विशेषताओं के विषय में प्रर्याप्त सूचना देते हैं ।

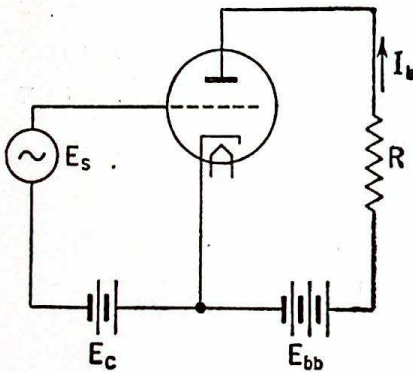
रिले अथवा वाल्व के रूप में त्रिओद
(The Triode as a Relay or Valve)

त्रिओद की एक बहुत सरल प्रयुक्ति, उसके एक बहुत ही हृष रिले के रूप में उपयोग होने में है । चित्र 15–5 में, यह, एक जल बाथ (Waer Bath) का तापमान नियंत्रित करने के लिये प्रयुक्त होता है । इस प्रयुक्ति में, एक हृष पारद तापमापी की डंडी (Stem) पर दो विद्योद इस प्रकार लगे होते हैं कि पारा, 6J5 नाल के ग्रिड परिपथ को पूर्ण करता है । इस नाल के लक्षण चित्र 15-3 में दिखाये गये हैं । वोल्ट की ऋणात्मक ग्रिड अभिनति (Grid Bias), माला में, एक मेग ओम (Megohm) के रोधक के साथ प्रयोग की जाती है । पट्टिका शक्म

चित्र 15-5 : **स्थिर तापमान बाथ का तापमान नियंत्रण**

100 वोल्ट है । जब तक तापमापी युजन को पूर्ण नहीं करता, तब तक ग्रिड सारी ही पट्टिका धारा को अवरुद्ध रखती है; और रिले प्रवर्तन नहीं करता । इस प्रकार, शक्ति जल तापक से युजित रहता है । तापमान में पर्याप्त वृद्धि होने पर, पारा ऊपर वाले विद्योद को स्पर्श करता है, और ग्रिड शून्य शक्म पर आ जाती है, तथा पट्टिका धारा एकदम 8 या 10 मिलि अम्प० हो जाती है (यह रिले के रोध पर निर्भर करती है) । यह धारा, रिले को प्रवर्तित कर देती है, और जल तापक वियुजित हो जाता है । तापमापी का पारद स्तंभ (Mercury Columm) वोल्ट पर 1/100000 अम्प० वहन करने वाले परिपथ को युजित अथवा वियुजित करता है । इसलिये संधारण में बहुत कम कठिनाई अनुभव की जाती है । यह दृष्टान्त, ग्रिड का प्रवर्तन करने के लिये अपेक्षित अति अल्प ऊर्जा के पिछले उल्लेख को निर्दशिता करता है, जो औद्योगिक प्रयुक्तियों के लिये, शून्यक नाल का मुख्य लाभ है ।

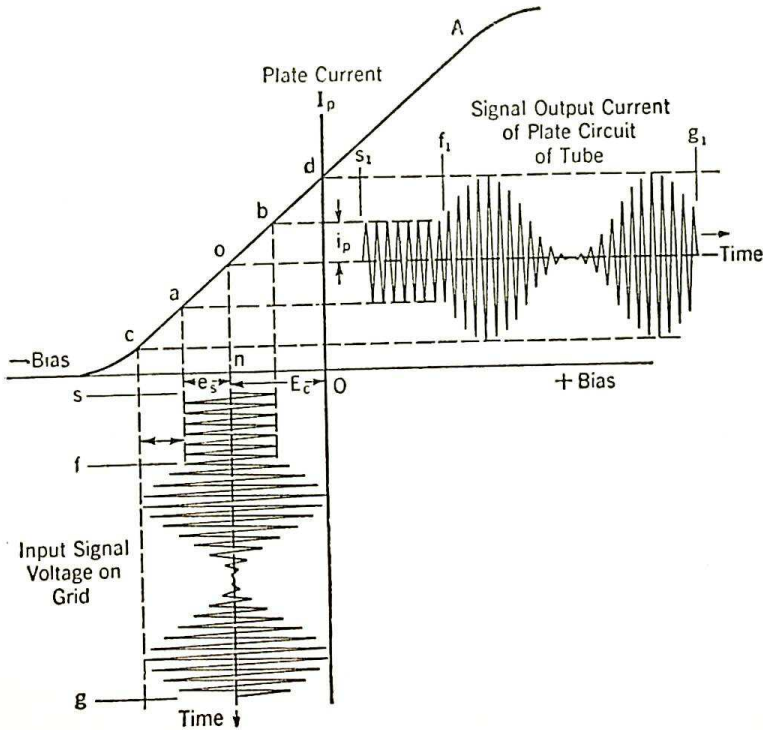
त्रिओद, प्रवर्धक के रूप में (Triode as an Amplifier)

शून्यक नाल त्रिग्रोद के बहुत से उपयोगों में, इसकी प्रवर्धन योग्यता का उपयोग किया जाता है। इसके द्वारा, ग्रिड पर ग्रारोपित ग्रति ग्रल्प वोल्टता विचरण को प्रदा परिपथ में बहुत ग्रधिक धारा ग्रथवा वोल्टता विचरण में प्रवर्धित किया जाता है। तब इस प्रदा को विभिन्न उद्देश्यों की पूर्त्ति के लिये काम में लाया जा सकता है। इसके ऐसे उपयोग का एक दृष्टान्त यह है; मशीन ग्रथवा संरचना ग्रंशक के तल पर, सूक्ष्म रोध तार जोड़ दिये जाते हैं। मशीन के तल की विकृति के साथ-साथ ये तार भी तनाव ग्रथवा दबाव ग्रनुभव करते हैं। रोध तार में, इस कारण, रोध ग्रन्तर उत्पन्न हो जाता है। इसके कारण इनके ग्रार-पार वोल्टता में भी सूक्ष्म ग्रन्तर ग्रा जाता है। इस ग्रन्तर को, त्रिग्रोद द्वारा प्रवर्धित कर, मशीन ग्रंशकों के ऊपर, प्रतिबल ज्ञात किये जा सकते हैं। जब रोध विचरण को प्रवर्धित कर दोलन लेखी पर ग्रभिलिखित कर लिया जाता है, तब इसे संरचक प्ररचना का ग्रध्ययन करने के लिये प्रयोग किया जा सकता है।

चित्र 15-6 : रोध भार के साथ त्रिओद

(दोलन लेखी वे यन्त्र होते हैं, जो धारा ग्रथवा वोल्टता के तात्क्षणिक विचरणको ग्रभिलिखित करते हैं)। ऐसी ग्रधिकांश प्रयुक्तियों में बहुत-सी प्रवर्धक नालों को प्रपात में (In Tandem)एक के बाद एक प्रयोग करना ग्रावश्यक होता है। इस विधि का वर्णन बाद में किया जायेगा। प्रवर्धक के रूप में, त्रिग्रोद का मूलभूत प्रवर्तन तथा परिपथ संगणना की विधियों को पहले ग्रच्छी प्रकार समझ लेना चाहिये।

चित्र 15-6 में, प्रारम्भिक युजन का रेखा चित्र दिखाया गया है। यह चित्र 15-5 के युजन रेखाचित्र के बहुत कुछ समरुप पाया जायगा; केवल व्यावहारिक प्रयुक्ति की जटिलताग्रों को छोड़ दिया गया। समूहा की स्थिर वोल्टता E_{bb} के लिये, शून्यक नाल का पारस्परिक लक्षण (भार रोध का ग्रन्तर्वेशन कर), चित्र 15-6 के वक्र (A) द्वारा दिखाया गया है। ग्रिड वोल्टता क्षैतिज पर तथा पट्टिका धारा ऊर्ध्वाधर ग्रक्ष पर ग्रंकित की गई है। बिन्दु n, स्थिर ग्रिड ग्रभिनति वोल्टता E_c को; तथा O, तत्सम्बन्धी पट्टिका धारा को देशित करता है। इस पारस्परिक लक्षण पर, दो ग्रन्य रेखाचित्र भी ग्रध्यारोपित किये गये हैं। इनमें एक प्रारूपिक रेडियो संज्ञप्ति (Typical Radio Signal) की ग्राकृति के रुप में, ग्रिड वोल्टता का काल के साथ विचरण देशित करता है। इसे चित्र के निचले बायें भाग में दिखाया गया है। समय का विचरण से ग्रारम्भ होकर

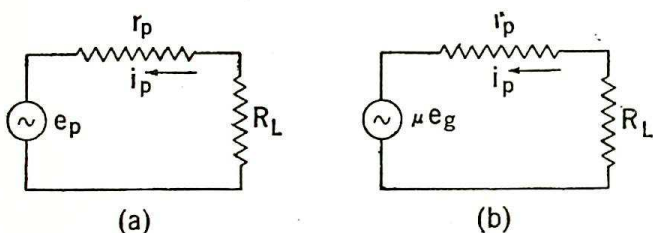
g तक चलता है। ग्रिड वोल्टता, स्थिर ग्रिड, अभिनति E_c तथा संज्ञप्ति वोल्टता e_s के योग से बनती है।

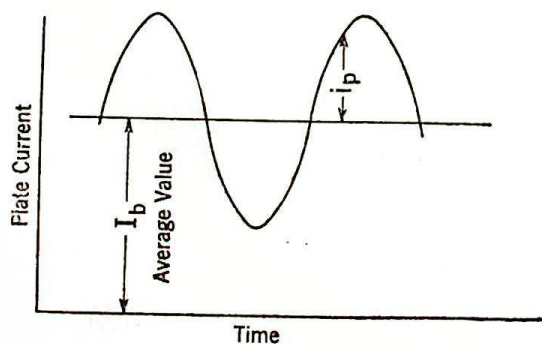
ग्रिड वोल्टता का विचरण, पट्टिका धारा में समय के साथ वैसा ही विचरण उत्पन्न कर देता है। यह चित्र के दायें ऊपरी भाग में दिखाया गया है। यहाँ काल, S_1 से आरम्भ होकर g_1 तक चलता रहता है। जब ग्रिड वोल्टता E_c होती है, तब पट्टिका धारा O पर है। फिर यह $E_c/2$ तक घट जाती है और पट्टिका धारा b तक बढ़ जाती है। जब संज्ञप्ति वोल्टता उत्क्रमित हो जाती है, तब ग्रिड अभिनति $\frac{3}{2}E_c$ तक बढ़ जाती है, और पट्टिका धारा घटकर a तक आ जाती है। जब तक यह प्रवर्तन पारस्परिक लक्षण वक्र के सीधे प्रभाग पर होता है, तब तक पट्टिका धारा का काल विचरण, आदा संज्ञप्ति वोल्टता के ठीक अनुरूप होगा।

चित्र 15-7 : **शून्यक नाल प्रवर्धक में ग्रिड वोल्टता—पट्टिका धारा सम्बन्ध (सभी तरंगें, ज्या तरंगें हैं; पर सुगमता के लिये सीधी रेखाओं द्वारा दिखाई गई हैं।)**

ग्रिड वोल्टता विचरण का पट्टिका धारा विचरण में परिवर्तन, संज्ञप्ति को प्रवर्धित होने देता है क्योंकि, इस धारा विचरण को, भार रोध के आर-पार वोल्टता-पात में परिवर्तित कर, पुनः वोल्टता विचरण के रूप में प्राप्त किया जा सकता

है। साधारणतया, भार के आरपार यह वोल्टता विचरण, आदा संज्ञप्ति वोल्टता से बहुत अधिक होगा, जो अगले परिच्छेद में प्रदर्शित किया गया है।

त्रिओद का सम परिपथ (Equivalent Circiut of a Triode)

नाल के पट्टिका रोध की परिभाषा, पट्टिका वोल्टता तथा तत्सम्बन्धी पट्टिका धारा के अनुपात द्वारा की गई थी। इसे चित्र 15–8 (a) के सम परिपथ के रूप में दिखाया गया है। इस परिपथ में, पट्टिका वोल्टता विचरण e_p के निवेशित कर दिया गया है। परिणामस्वरूप, यह पट्टिका धारा विचरण i_p उत्पन्न करेगा। इस धारा विचरण की आकृति चित्र 15–9 में दिखाई गई है। सम परिपथ में I_b अथवा औसत पट्टिका धारा के प्रवाह का विचार नहीं किया गया है; क्योंकि यह आदा संज्ञप्ति के प्रवर्धन में कोई अंशदान नहीं करती। इसलिये ध्यान केवल धारा विचरण के प्रभाव पर ही केन्द्रित किया

चित्र 15-8 : **शून्यक नाल त्रिओद का सम परिपथ**

गया है। यह सम परिपथ, मुख्यतः, यह दिखाता है, कि ग्रिड वोल्टता आदा का प्रयोग करते हुए, इसके ही समान कोई सम परिपथ, किस प्रकार विन्यसित किया जा सकता है।

चित्र 15-9 : **शून्यक नाल त्रिओद में पट्टिका धारा के संघटक**

पट्टिका वोल्टता विचरण, पट्टिका धारा में जितना विचरण उत्पन्न करेगा, ग्रिड वोल्टता में उतना ही विचरण, पट्टिका धारा में μ गुना विचरण उत्पन्न करेगा। इसलिये चित्र 15-8 (b) में, आदा वोल्टता μe_g के बराबर मानी

गई है। इस सम परिपथ द्वारा, यदि आदा ग्रिड वोल्टता दी हुई हो, तो भार रोध के आर पार, वोल्टता विचरण की संगणना करना संभव है।

यदि विचाराधीन नाल 6J5 है, (जिसके लक्षण, चित्र 15-3 और 15-4 में दिखाए गये हैं)। इसका μ, 20 के और पट्टिका रोध 8000 ओम के बराबर है। एक विशिष्ठ अवस्था में भार रोध 20000 ओम माना जायगा। यदि वायुपर्ण (Airfoil) के तल पर संयुजित तन्तु विकृति माप (Wire Strain Gage) के रोध विचरण के कारण, इसके आरपार $\frac{1}{10}$ मि० वो० का वोल्टता विचरण उत्पन्न हो; तो सम परिपथ में निवेशित होने वाली वोल्टता :

$$\mu\, e_g = 20 \times 0{\cdot}0001 = 0{\cdot}002 \text{ वोल्ट}$$

धारा में परिवर्तन,

$$i_p = \frac{\mu e_g}{r_p + R_L} = \frac{0{\cdot}002}{8000 + 20000} = 7{\cdot}2 \times 10^{-8} \text{ अम्प०}$$

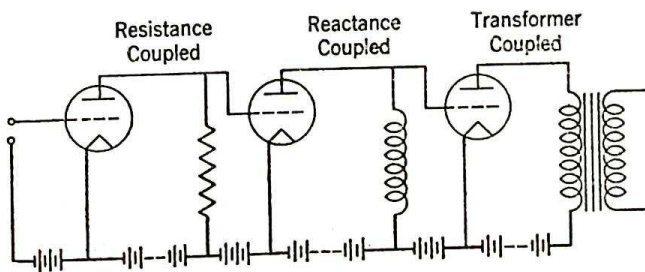
भार रोध के आरपार वोल्टता विचरण,

$$e_{RL} = i_p R_L = 20000 \times 7{\cdot}2 \times 10^{-8} = 1{\cdot}44 \times 10^{-3} \text{ वोल्ट}$$

भार रोध के आरपार वोल्टता परिवर्तन तथा ग्रिड परिवर्तन का अनुपात (प्रवर्धक का वोल्टता प्रवर्धन)

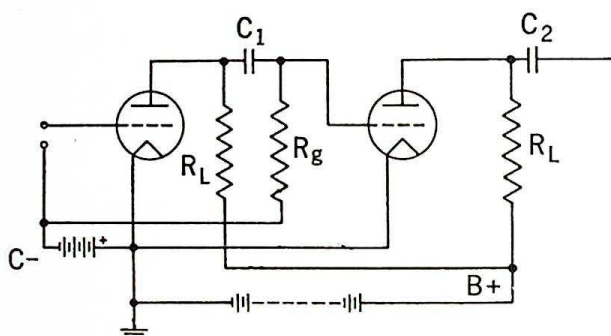
$$\frac{e_{RL}}{e_g} = \frac{1{\cdot}44 \times 10^{-3}}{10^{-4}} = 14{\cdot}4$$

यदि भार रोध के आरपार यह विचरण, दूसरे नाल के ग्रिड पर आरोपित किया जाय, तो यही विधायन फिर से होगा।

अभ्यास 15-1 : एक त्रिओद पर भार रोध 30,000 ओम है। इसका $\mu = 12$, और $r_p = 8000$ ओम है। 20 मि० वो० के ग्रिड वोल्टता विचरण के आरोपित होने पर, भार रोध के आर-पार कितना वोल्टता विचरण उपलब्ध होगा?

चित्र 15-10 : **शून्यक नाल त्रिओदों को भारित तथा युग्मित करने की विधि**

अभ्यास 15–2 : एक प्रवर्धक प्रक्रम (Amplifier Stage) का वास्तविक वोल्टता प्रवर्धन क्या होगा जिसका $\mu = 18$; $r_p = 25000$ ओम ; $R_L = 50000$ ओम, और $e_g = 300\ \mu V$ है?

माला में प्रवर्धक प्रक्रम (Amplifier Stages in Series)

जब वोल्टता में अल्प विचरण के प्रवर्धन के लिये, बहुत से शून्यक नाल त्रिग्रोद माला में प्रयोग किये जाते हैं, तब एक नाल के भार के वोल्टता विचरण को अगले नाल के ग्रिड पर आरोपित किया जाता है। यदि प्रत्येक नाल के लिये पट्टिका वोल्टता तथा ग्रिड अभिनति अलग-अलग प्रदत्त हों, तो चित्र 15-10 में दिखाये गये विभिन्न प्रकार के सीधे युजन संभव हो सकते हैं। प्रत्येक प्रकार के युग्मन के लिये, भार की अवबाधिता (उदाहरणतया प्ररोचि प्रतिकारिता), सम परिपथ में प्रकट होगी।

चित्र 15-11 : **युग्मन धारित्र (अथवा परिवर्तित) बहुत से नालों के लिये एक ही समूहा कुलक के प्रयोग का अनुमनन करता है**

प्रत्येक नाल के लिये, अलग-अलग वोल्टता प्रदाय का प्रावधान करना मितव्ययी नहीं होता। इसीलिये, सामान्यतः, अगली नाल के ग्रिड को धारित्र द्वारा, पट्टिका वोल्टता के अ० धा० संघटक से विसंवाहित कर दिया जाता है। रोध को पट्टिका भार के रूप में प्रयोग करने वाला ऐसा परिपथ, चित्र 15-11 में दिखाया गया है। इसमें सभी नालों के लिये, एक ही पट्टिका वोल्टता प्रदाय तथा एक ही ग्रिड अभिनति प्रयोग की जाती हैं। वोल्टता विचरण को, दूसरे नाल की ग्रिड तक, धारित्र C_1 द्वारा पारेषित किया जाता है। एक उच्च रोधक R_g को, ग्रिड अभिनति वोल्टता प्रदाय से युजित करके औसत ग्रिड वोल्टता को अपने उचित मान पर, संधारित किया जाता है।

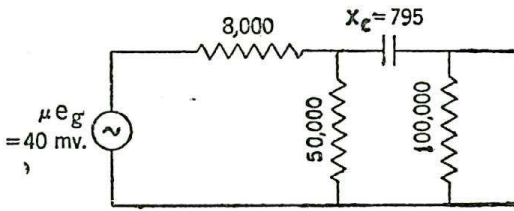
उदाहरण : मान लीजिये, कि चित्र 15–11 में प्रयोग होने वाले शून्यक नाल का $\mu=20$ और $r_p=8000$ ओम है। परिपथ अंशकों के मान निम्नलिखित हैं :

$R_L=20000$ ओम।

$R_g=1$ मेग ओम।

$C_1=0{\cdot}004\ \mu F.$

5000 चक्र की वारंवारता पर 2 मि० वो० की ग्रिड वोल्टता के लिये प्रथम प्रक्रम (First Stage) का प्रवर्धन निकालिये।

समाधान : चूंकि उच्च वारंवारता पर समूहा का रोध नगण्य होता है, इसलिये सम परिपथ, चित्र 15–12 के अनुरूप होगा।

चित्र 15-12

(1) धारित्र की प्रतिकारिता :

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{10^6}{2\pi \times 5000 \times 0{\cdot}004} = 7950 \text{ ओम।}$$

(2) 20000 ओम के रोध के साथ, 1 मेग ओम का रोध और 7950 ओम की धारि प्रतिकारिता समानान्तर में है। इस परिपथ की अवबाधिता. सातवें अध्याय के अनुसार संगणित की जा सकती है। इसका लगभग मान, वैसे भी निकाला जा सकता है। चूंकि 1 मेगओम का रोध, भार रोध का पचास गुना है, इसलिये, समानान्तर परिपथ की अवबाधिता को 20000 ओम ही मान लेने पर, 2 प्रतिशत से भी कम की अशुद्धि होगी। इसलिये ऐसा ही (अर्थात् 20000 ओम) मान लिया जायगा।

(3) पट्टिका धारा,

$$i_p = \frac{\mu e_g}{r_p + R_L} = \frac{0{\cdot}04}{8000+20{,}000} = 1{\cdot}43 \times 10^{-6} \text{ अम्प०}$$

(4) R_L के आर-पार वोल्टता,

$$e_{RL} = 20000 \times 1{\cdot}43 \times 10^{-6}$$
$$= 28{\cdot}6 \times 10^{-3}\ V$$
$$= 28{\cdot}6 \text{ मि० वो०}$$

(5) R_g के आर-पार वोल्टता,

$$V_{Rg} = \text{भार रोध के आरपार वोल्टता} \times \frac{R_g \text{ का रोध}}{\text{माला में } R_g \text{ तथा } X_c \text{ को अवबाधिता}}$$

$$Z_g = \sqrt{R_g^2 + X_c^2}$$
$$= \sqrt{1{,}000{,}000^2 + 7950^2}$$
$$= 1{,}000{,}000 \text{ ओम (लगभग)}$$

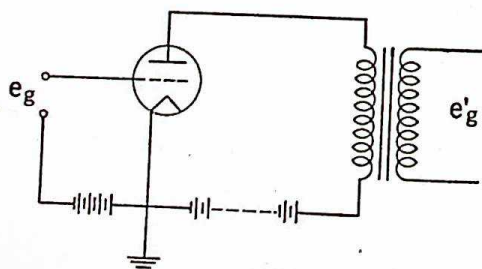
R_g तथा Z_g का अनुपात लगभग इकाई के बराबर है; और इसलिये, अगली नाल की ग्रिड पर वोल्टता, भार के आर-पार वोल्टता के बराबर है, जो 28·6 मि० वो० है।

(6) इस प्रकार इस प्रक्रम के लिये वोल्टता प्रवर्धन

$$= \frac{28 \cdot 6}{2} = 14 \cdot 3$$

ऊपर का यह उदाहरण, अगले परिपथ के ग्रिड के धारित्र-युग्मन (Capacitor Coupling) के विषय में बहुत से सामान्य निष्कर्षों को देशित करता है। प्रथमतः, यदि भार रोध की अपेक्षा, ग्रिड परिपथ का रोध काफ़ी अधिक हो, तो समानान्तर R_g परिपथ का, भार रोध के आर-पार की वोल्टता पर बहुत ही कम प्रभाव पड़ेगा। दूसरे, जब तक संज्ञप्ति की वारंवारता इतनी काफ़ी अधिक है, कि R_g की तुलना में X_c बहुत ही छोटा हो जाय, तब तक अगले नाल की ग्रिड पर आरोपित वोल्टता, लगभग, भार रोध के आर-पार की वोल्टता के बराबर होगी ; क्योंकि X_c तथा R_g के आर-पार की वोल्टता चतुष्क (Quadrature) में जोड़ी जाती है। उपर्युक्त प्ररूप के परिपथ को "ग्रिड का धारित्र युग्मन" कहते हैं। शून्यक नाल प्रवर्धक के प्रवर्तन के लिये अपेक्षित, विभिन्न वोल्टताओं के प्रावधान की समस्या को, ऐसा युग्मन, काफ़ी सरल बना देता है ; क्योंकि समानान्तर में युजित बहुत से नालों के लिये केवल एक ही समूहा अथवा ऋजुकारी प्रयोग किया जा सकता है।

जैसा चित्र 15–10 में दिखाया गया है, नाल के ऊपर, रोध R_L के स्थान पर एक प्ररोचि प्रतिकारिता भार का भी प्रयोग किया जा सकता है। इसका लाभ यह है, कि यह सम परिपथ की कुल अवबाधिता को कम कर देता है ; क्योंकि नाल का रोध तथा भार प्रतिकारिता चतुष्क में होती हैं। कम अवबाधिता के कारण, अधिक प्रभावी धारा विचरण तथा उसके तत्सम्बन्धी भार के आर-पार की वोल्टता का विचरण, प्राप्त करना सम्भव है। परन्तु प्ररोचि प्रतिकारिता भार में यह कठिनाई भी है, कि वह वारंवारता विचरण के लिये हृष होता है, और जहाँ वारंवारता के विस्तृत परास में प्रवर्धन करना हो, वहाँ यह सन्तोषजनक नहीं होता। एक धारित्र युग्मन द्वारा, यह वोल्टता विचरण, अगले नाल के ग्रिड को स्थानान्तरित किया जा सकता है ; जैसा चित्र 15-11 में रोध भार के साथ होता है।

चित्र 15-13 : **परिवर्तित्र युग्मित प्रवर्धक**

जब परिवर्तित्र को युग्मन युक्ति के रूप में प्रयोग किया जाता है, तो यह अगले नाल के ग्रिड परिपथ को, पट्टिका की अ० धा० वोल्टताओं से विसंवाहित कर देता है। इसलिये युग्मन धारित्र (Coupling Condenser) की आवश्यकता नहीं होती। इसका और भी

लाभ यह है, कि परिवर्तित्र के द्वितीयक पर अधिक वर्त संख्या प्रयोग कर कुछ अतिरिक्त वोल्टता गुणन भी प्राप्त किये जा सकते हैं। निम्नलिखित उदाहरण से यह स्पष्ट हो जायगा, कि इस परिपथ की संगणना किस प्रकार की जा सकती है।

उदाहरण : चित्र 15-13 में दिखाये गये परिवर्तित्र-युग्मित परिपथ में, परिवर्तित्र के द्वितीयक पर, प्राथमिक की अपेक्षा, 3 गुने वर्त हैं। (द्वितीयक के खुले होने पर) प्राथमिक की प्ररोचिता 4 हेनरी; और रोध 2000 ओम है। नाल के ग्रिड पर 500 चक्रीय, 5 मि० वो० की वोल्टता आरोपित करने पर वोल्टता प्रवर्धन निकालिये। नाल का $\mu=20$ और पट्टिका रोध 6700 ओम है।

समाधान : (1) पट्टिका परिपथ की अवबाधिता,

$$Z_p=\sqrt{(r_p+r_t)^2+X_t^2}$$
$$=\sqrt{(6700+2000)^2+(2\pi\times500\times4)^2}$$
$$=\sqrt{8700^2+12600^2}=15400 \text{ ओम}$$

(2) संज्ञप्ति पट्टिका धारा,

$$i_p=\frac{\mu e_g}{Z_p}=\frac{20\times0{\cdot}005}{15400}=6{\cdot}5\times10^{-6} \text{ अम्प०}$$

(3) परिवर्तित्र के प्राथमिक के आर-पार वोल्टता ; (चूँकि अगले नाल का ग्रिड परिपथ, वस्तुतः खुला है),

$$e_t=i_p\times Z_t=6{\cdot}5\times10^{-6}\sqrt{(2000)^2+(12600)^2}$$
$$=6{\cdot}5\times12800\times10^{-6}=83{\cdot}2 \text{ मि० वो०}$$

(4) अगले नाल की ग्रिड वोल्टता, परिवर्तित्र की प्राथमिक वोल्टता का तीन गुना होगी ; (चूँकि वर्त अनुपात 3 : 1 है)।

$$\therefore\ e_g=3\times83{\cdot}2=250 \text{ मि० वो०}$$

(5) इसलिये प्रवर्धन अनुपात$=\frac{250}{5}=50.$

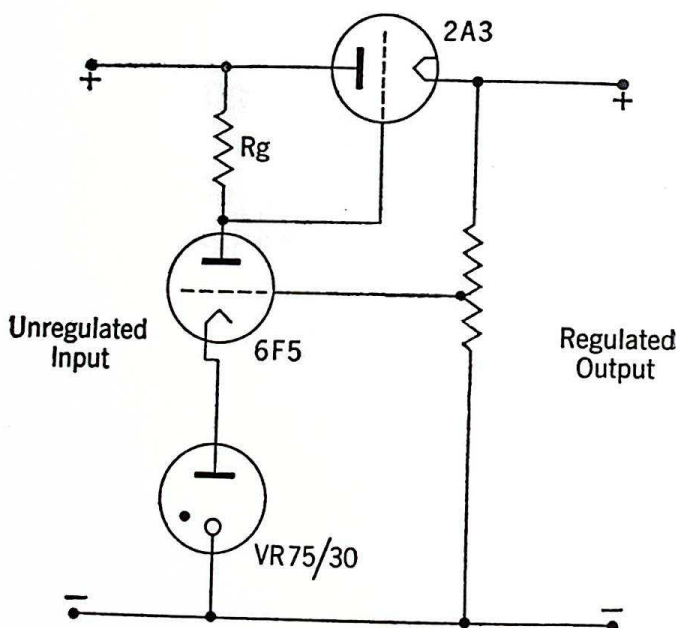
प्रवर्धन परिपथों के लिये उचित मान के धारित्र तथा रोधक का चयन करना और दूसरी प्ररचना विशेषतायें, इस पुस्तक के बाहर के विषय हैं। तथापि, उपर्युक्त स्पष्टीकरण, प्रवर्धन परिपथों की निष्पादन संगणनाओं की विधि को देशित करता है।

अभ्यास 15-3 : एक प्रवर्धन प्रक्रम में, पट्टिका भार एक प्ररोचक है, जिसका रोध 1000 ओम तथा प्ररोचिता 2 हेनरी है। नाल का $\mu=25$ और पट्टिका रोध, 20000 ओम है। अगले नाल की ग्रिड $0{\cdot}004\,\mu F$ की धारिता वाले धारित्र द्वारा युग्मित है; और ग्रिड रोधक 1 मेगओम का है।

प्रवर्धक का प्रवर्धन अनुपात (Amplification Ratio) निकालिये ; जब कि 1 मि० वो० की संज्ञप्ति (*a*) 10,000 चक्र, (*b*) 100 चक्र की वारंवारता पर ग्रिड पर आरोपित की जाय ।

अभ्यास 15-4 : निम्नलिखित परिवर्तित्र-युग्मित प्रवर्धक का 1000 चक्र प्रति सेकंड की वारंवारता पर प्रवर्धन अनुपात निकालिये ।

$$\mu = 40, \qquad r_p = 25000 \text{ ओम}$$

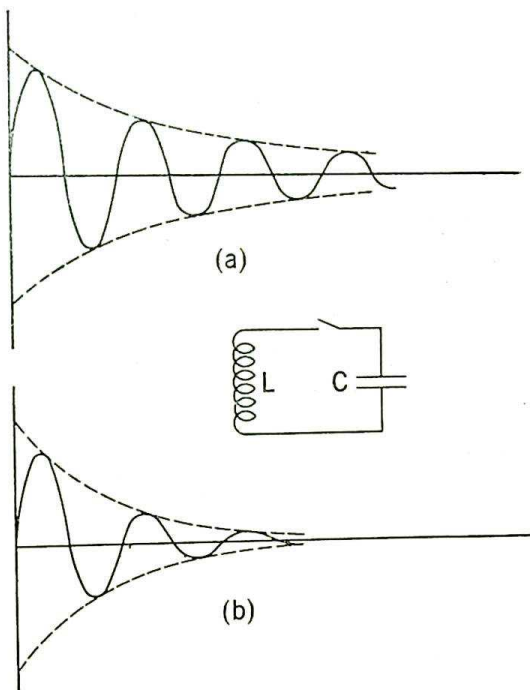
परिवर्तित्र स्थिरांकः—प्राथमिक की अवबाधिता : $r_t = 2500$ ओम $L_t = 3$ हेनरी
वर्त संख्या 1 : 4

चित्र 15-14 : **इलेक्ट्रॉनिक वोल्टता यामक**

अभ्यास 15-5 : चित्र 15-14 में दिखाया गया *VR*-75/30 नाल, लगभग 73 वोल्ट पर धारा लेने लगेगा ; और 76 वो० पर यह धारा लगभग 30 मि० अ० तक बढ़ जायगी । दूसरे दोनों शून्यक नाल सामान्य त्रिओद हैं । स्थिर प्रदा वोल्टता संधारण करने के लिये परिपथ के प्रवर्तन का विश्लेषण कीजिये ।

उच्च वारंवारता दोलक (High Frequency Oscillators)

सातवें अध्याय में प्र० धा० अनुनाद परिपथों के अध्ययन से यह ज्ञात हुआ था, कि कुंडल के चुम्बकीय क्षेत्र तथा धारित्र के पारद्युतिक क्षेत्र में, ऊर्जा, क्रमशः, प्रत्यावर्ती रूप में संग्रहित होती है । जब अल्प रोध के एक कुंडल को, एक धारित्र के साथ समानान्तर में युजित कर दिया जाता है ; तो कुंडल तथा धारित्र के

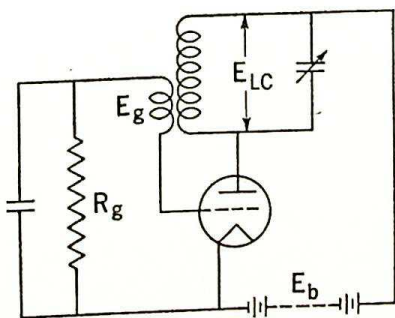
बीच में शक्ति के बहुत बड़े दोलन के लिये भी, अति अल्प बाहरी शक्ति की आवश्यकता होती है।

यदि धारित्र को आवेशित करने के बाद, उसके साथ एक विलग कुंडल युजित कर दिया जाय, तो कुंडल तथा धारित्र की अनुनाद वारंवारता पर शक्ति का यही दोलन फिर होगा। तथापि, इसे अनिश्चित रूपसे संधारित नहीं किया जा सकता; क्योंकि धारित्र में संग्रहित ऊर्जा, कुंडल के रोधतारों में तथा योजकों (Leads) में निप्रथित (Dissipated) हो जायगी। यह चित्र 15–15 में दिखाया गया है, जिसमें कुंडल तथा धारित्र के लिये

चित्र 15-15 : **एक L-C परिपथ में धारा दोलन**

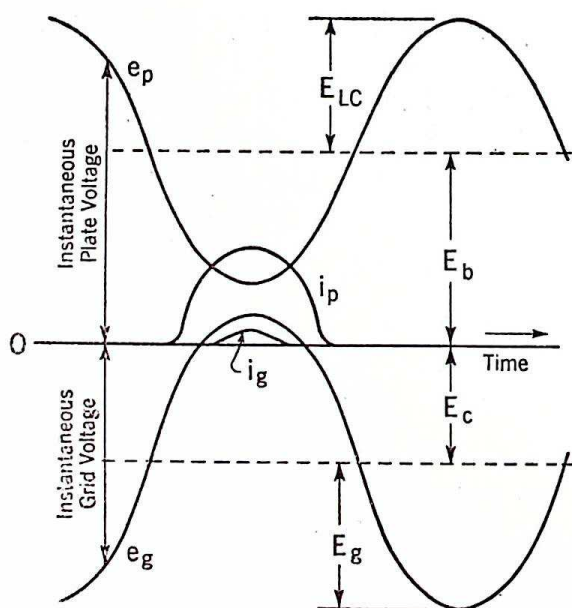
धारा के दोलन दिखाए गए हैं। दोलन धारा की मात्रा उसी प्रकार धीरे-धीरे घट जाती है, जिस प्रकार किसी के दुबारा धक्का न देने से झूला धीरे-धीरे रुक जाता है। यदि कुंडल का रोध काफ़ी अधिक हो, तो धारा जल्दी ही समाप्त हो जायगी; जैसे (*b*) में। परन्तु, यदि रोध बहुत कम हो, तो दोलन कुछ समय के लिये होते रह सकते हैं, जसा (*a*) में दिखाया गया है।

उच्च वारंवारता दोलक में, ऐसा दोलक परिपथ, त्रिग्रोद के पट्टिका परिपथ में युजित कर दिया जाता है; जैसा चित्र 15-16 में दिखाया गया है। मुख्य कुंडल से पारस्परिक युग्मन करता हुआ एक दूसरा कुंडल, नाल के ग्रिड से युजित कर दिया जाता है। इस द्वितीयक

चित्र 15-16 : **एक शून्यक नाल दोलक**

कुंडल में विकसित वोल्टता विचरण को जब ग्रिड पर आरोपित किया जाता है,

तो पट्टिका परिपथ में उच्च वारंवारता की धारा प्रवाहित होने लगती है। **पट्टिका परिपथ में उच्च वारंवारता धारा, कुंडल की हानियों का प्रदाय करने के लिये पर्याप्त होती है; और इसलिये दोलन होता रहेगा।**

दोलनों का संधारण करनेवाली ऊर्जा, अ० धा० पट्टिका वोल्टता प्रभव से ली जाती है। यह, घड़ी में संतुलन चक्र के लिये अपेक्षित ऊर्जा का मुख्य कमानी द्वारा प्रदत्त होने के अनुरूप है। (घड़ी में, इस्केपमेंट तन्त्र (Escapement Mechanism), कमानी के अनवरत दबाव को, प्रणोदों में परिवर्तित कर देता है, जो दोलनों का संधारण करते हैं)। गियरों के उच्च वारंवारता तापन, तल दृहंण (Surface Hardening) तथा प्लास्टिक के पारविद्युतिक तापन (Dielectric Heating) के लिये भी प्रणोद का यही सिद्धान्त प्रयोग किया जाता है। इस प्रकार के दोलक में, ग्रिड अभिनति काफ़ी अधिक होती है, जिससे कि ग्रिड वोल्टता तरंग के धनात्मक शिखर पर के अतिरिक्त, धारा प्रवाहित नहीं होती। इस प्रकार ग्रिड वोल्टता तरंग के प्रत्येक चक्र के धनात्मक शिखर के साथ जो प्रणोद आता है, वही दोलन को संधारण करता है।

प्रवर्तन की इस विधि का मुख्य लाभ यह है, कि उसी नाल से पर्याप्त मात्रा में अधिक शक्ति विकसित की जा सकती है। नाल प्रवर्तन में, एक मुख्य परिसीमा पट्टिका का तापमान है। पट्टिका इतनी गर्म नहीं हो जानी चाहिये, कि वह पिघल जाय, अथवा विकृत हो जाय। पट्टिका का तापन, इलेक्ट्रॉनों के गोल क्षेपण के

चित्र 15-17 : एक शक्ति प्रवर्धक के त्रिओद में तात्क्षणिक धारा एवं वोल्टता

कारण होता है ; और इसलिये यह औसत धारा प्रवाह तथा पट्टिका वोल्टता के गुणन के समानुपाती होता है। पट्टिका धारा का अव्यवहित प्रभाग, उच्च वारंवारता दोलनों के उद्दीपन में कुछ भी अंशदान नहीं करता, परन्तु पट्टिका को गर्म अवश्य करता है। इस अ० धा० संघटक को कम कर देने से, नाल को बिना अतितापित किये उद्दीपन को काफ़ी बढ़ाया जा सकता है।

नाल प्रवर्तन की यह विधि, चित्र 15-17 में दिखाई गई है। इसमें चित्र 15–16 के ही समान परिपथ के लिये, पट्टिका तथा ग्रिड वोल्टतायें अंकित की गई हैं। इस अवस्था में ग्रिड, अपकर्तन (Cut off) के आगे, काफ़ी अभिनत (Biassed) होती है ; जिससे परिपथ में धारा तब तक प्रवाहित नहीं होती, जब तक E_g अपने अधिकतम धनात्मक मान के निकट नहीं होता। जब ग्रिड वोल्टता धनात्मक हो जाती है, उस थोड़े समय में ही पट्टिका धारा काफ़ी अधिक हो जाती है। ग्रिड के धनात्मक होने पर, कुछ इलेक्ट्रॉन प्रवाह ग्रिड की ओर को भी होता है, जो ग्रिड की ऋणात्मक अभिनति को बढ़ा देता है। इसका कारण यह है, कि आवेश को ग्रिड से, उच्च रोध R_g के कारण, च्यवित हो जाने में काफ़ी समय लगता है। यह क्रिया, ग्रिड (वोल्टता) के धनात्मक झुकाव को सीमित कर देती है, और साथ ही साथ दोलक अथवा टंकी परिपथ (Oscillatory or Tank Circuit) का प्रदीपन भी सीमित हो जाता है।*

दोलनों का परिमाण, ग्रिड अभिनति, E_g का E_{LC} से अनुपात, नाल लक्षण और दोलक परिपथ के रोध पर निर्भर करता है। दोलनों का संधारण करने के लिये, E_g का E_{LC} से अनुपात काफ़ी अधिक होना चाहिये। साथ ही साथ ग्रिड अभिनति इतनी अधिक नहीं होनी चाहिये, कि पर्याप्त पट्टिका धारा न प्राप्त हो सके। इन विभिन्न संघटकों तथा परिपथ की प्राकृतिक हानियों का संतुलन, ग्रिड की स्वयं अभिनति क्रिया के कारण स्वयं ही नियंत्रित हो जाता है। यह क्रिया तब होती है, जब धनात्मक ग्रिड वोल्टता शिखर इतना बड़ा हो जाता है, कि ग्रिड की ओर इलेक्ट्रॉन प्रवाह बढ़ जाता है ; और उसके कारण ऋणात्मक ग्रिड अभिनति भी बढ़ जाती है। इसलिये ग्रिड वोल्टता को उत्पन्न करनेवाले दोलन कम हो जाते हैं।

सरल प्ररूप के दोलकों में से केवल एक का ही पर्यालोचन किया गया है। कुछ दोलकों में, ग्रिड के साथ पारस्परिक युग्मन, मुख्य दोलक परिपथ में धारित्र के एक प्रभाग द्वारा होता है। दूसरों में, दोलक परिपथ, पट्टिका परिपथ के स्थान पर, ग्रिड परिपथ में ही स्थित होता है। उच्च वारंवारता तापन के लिये,

---

* ग्रिड के धनात्मक झुकाव के समय, ग्रिड धारा का अभिनति प्रभाव, सारी ऋणात्मक ग्रिड वोल्टता का प्रावधान करने के लिये पर्याप्त होता है। चित्र 15-16 में दिखाई गई समूहा E_c की आवश्यकता नहीं होती, और इसीलिये सामान्यतः नहीं प्रयोग की जाती।

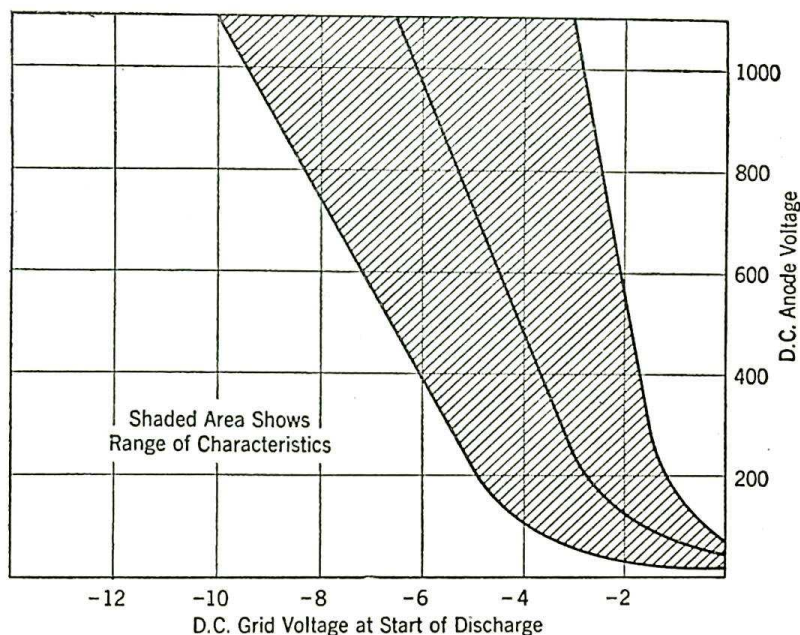
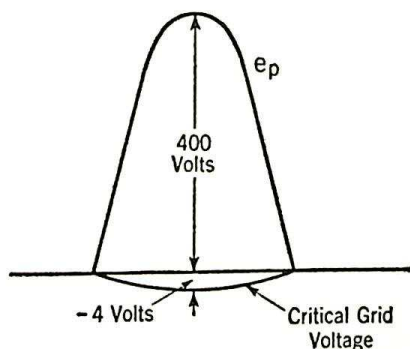
प्रयोग किये जानेवाला एक औद्योगिक दोलक सोलहवें अध्याय में वर्णित किया गया है।

गैस त्रिओद अथवा थायरेट्रान के सिद्धान्त
(Theory of Gas Triode or Thyratron)

चौदहवें अध्याय में गैस द्विओद के प्रवर्तन का पर्यालोचन किया गया था। इस प्ररूप के नाल में, ग्रिड के लगा देने से ऐसे लक्षण प्राप्त होते हैं, जो इसको विभिन्न प्रकार की औद्योगिक प्रयुक्तियों के लिये बहुत लाभदायक बना देते हैं।

जब निद्वोद की अपेक्षा ग्रिड बहुत अधिक ऋणात्मक होती है, तब निद्वोद से उद्वाष्पित होनेवाले सारे इलेक्ट्रॉन प्रतिकर्षित हो जाते हैं ; और इनमें से किसी का भी प्रवेग, गैस परमाणुओं का अयनन करने के लिये पर्याप्त नहीं होता। इसलिये चाहे पट्टिका वोल्टता कितनी ही हो, परन्तु नाल में उपागण्य धारा प्रवाह नहीं होता। जैसे-जैसे ऋणात्मक ग्रिड शक्म को कम किया जाता है, कुछ इलेक्ट्रॉन ग्रिड में से पारण कर जाते हैं, और अयनन प्रवेगों तक त्वरित हो जाते हैं। जैसे ही अयनन होने लगता है, वैसे ही नाल अत्यधिक संवाहनशील हो जाता है ; और निद्वोद तथा उद्वोद के बीच का वोल्टता अन्तर लगभग 20 वोल्ट तक गिर जाता है ; जो अयनन उत्पन्न करने के लिये न्यूनतम वोल्टता है। अयनन के होने पर, नाल को ज्वलन करता हुआ कहा जाता है। यह 20 वोल्ट स्थिर वोल्टता पात वाले खुले अथवा बन्द स्विच की भाँति कार्य करता है। जिस ग्रिड वोल्टता पर अयनन होने लगता है, वह कुछ-कुछ उद्वोद वोल्टता के परिमाण पर निर्भर करता है। यह सम्बन्ध चित्र 15-18 (a) में दिखाया गया है। इसमें ग्राफ़ पर ग्रिड वोल्टता के ऋणात्मक मान दिखाये गये हैं, जिन पर नाल, विभिन्न उद्वोद वोल्टताओं के साथ, ज्वलन करेगा। ये मान क्रांतिक ग्रिड वोल्टता कहे जाते हैं, क्योंकि यदि ग्रिड वोल्टता इससे अधिक ऋणात्मक हो, तो धारा प्रवाहित नहीं होती। इससे कम ऋणात्मक मानों पर पूर्ण अयनन प्राप्त हो जाता है। दूसरे शब्दों में, नाल लक्षण इस बिन्दु पर असंतत होता है।

नाल के एक बार अयनित होने पर, ग्रिड द्वारा धारा के प्रवाह को रोकना असंभव है ; क्योंकि धन अयन, ग्रिड के ऋणात्मक होने पर उसके चारों ओर एक निष्फलनकारी (Neutralizing) बादल-सा बना देते हैं, और अयनन होता रहता है। थायरेट्रॉन में, स्विच बन्द करने के लिये अथवा धारा प्रवाह को रोकने के लिये, नाल को विअयनित (De-ionize) करना पड़ता है, जिसके लिये पर्याप्त समय तक उद्वोद की धनात्मक वोल्टता को हटाना आवश्यक है। क्योंकि इसके लिये, बहुत बड़ी संख्या में इलेक्ट्रॉनों का, धन अयनों से संयोजन होना होता है, इसलिये इसमें लगभग 1/10000 सेकंड का समय लग जाता है। ग्रिड को. नाल नियंत्रण फिर से प्राप्त कर पाने के लिये, उद्वोद वोल्टता को हटाना

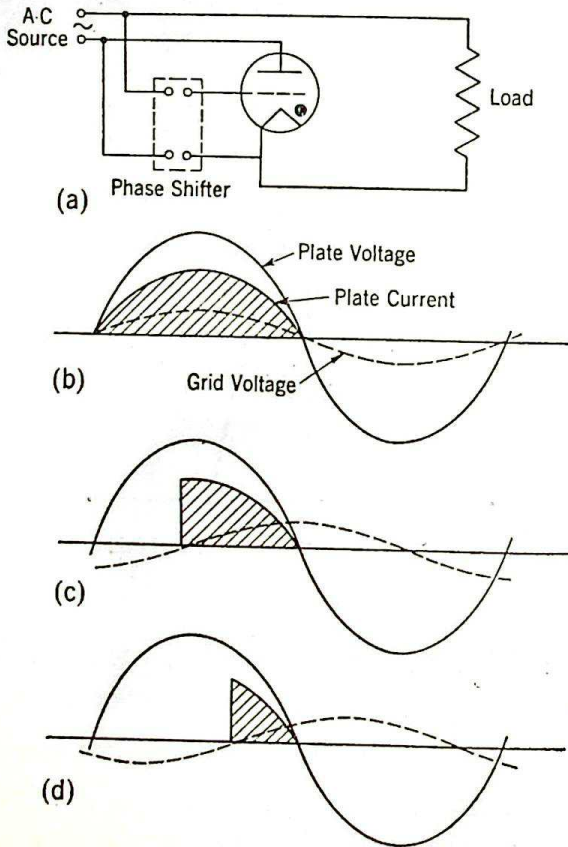
आवश्यक है। इसलिये सामान्यत: उद्वोद पर प्र० धा० वोल्टता ही प्रयोग की जाती है। तब 50 चक्र की वारंवारता पर, ग्रिड के लिये नाल का एक सेकंड में 50 बार नियंत्रण कर सकना संभव होता है।

(a)

(b)

चित्र 15-18 : (*a*) **प्रारूपिक थायरेट्रॉन नियंत्रण लक्षण।** (*b*) **प्र० धा० पट्टिका वोल्टता के एक थायरेट्रॉन नाल का क्रांतिक ग्रिड वोल्टता लक्षण।**

बहुधा, क्रांतिक ग्रिड वोल्टता को समय के विरुद्ध अंकित करना सुगम होता है (उद्वोद पर प्र० धा० वोल्टता के होने पर)। यह, चित्र 15-18 (*b*) में किया गया है; और अर्धचक्र में (जिसमें उद्वोद धनात्मक होता है) किसी भी समय, नाल को ज्वलन के हेतु आवश्यक ग्रिड वोल्टता को स्पष्टतया देशित करता है।

एक प्रारूपिक थायरेट्रॉन में, 4 वोल्ट का ऋणात्मक ग्रिड शक्म, 400 वोल्ट तक की उद्वोद वोल्टता पर भी ज्वलन नहीं होने देगा। परन्तु यदि उद्वोद वोल्टता को बढ़ा कर 500 वोल्ट कर दिया जाय, तो अयनन न होने देने के लिये, ग्रिड वोल्टता को भी ५ वोल्ट तक बढ़ाना होगा।

थायरेट्रॉन का ग्रिड नियंत्रण (Grid Control of Thyratron) :—गैस त्रिग्रोद के पूर्व निश्चित स्थिर ग्रिड वोल्टता पर प्रवर्तन करने के कारण, यह एक बहुत अच्छे रिले का कार्य करता है। इसके ज्वलन करते समय, पूर्ण भार धारा तुरन्त ही प्राप्त हो जाती है। इसकी, धारा वहन धारिता अधिक होती है; और निद्वोद तथा पट्टिका के बीच वोल्टता पात कम होता है। ग्रिड का नियंत्रण, फ़ोटो-विद्युत नाल (Photoelectric Tube), शून्यक नाल त्रिग्रोद अथवा एक हृष संस्पर्शक युक्ति द्वारा किया जा सकता है। वस्तुत:, यह किसी भी ऐसी युक्ति से नियंत्रित किया जा सकता है, जो क्रांतिक मान से कम ऋणात्मक ग्रिड वोल्टता दे सके।

थायरेट्रॉन बहुत-सी प्रयुक्तियों के लिये, विचरणशील औसत मात्रा की

चित्र 15-19 : **थायरेट्रॉन में फ़ेज़ विवर्तन ग्रिड नियंत्रण**

अव्यवहित धारा प्रदाय करने के लिये भी प्रयोग किया जा सकता है। यह, सामान्यतः, ग्रिड शक्म के फ़ेज का नियंत्रण करके किया जाता है ; जिससे कि नाल, उस अर्ध-चक्र के, जिसमें पट्टिका धनात्मक होती है, विभिन्न प्रभागों पर ज्वलन करे। इसे चित्र 15-19 में दिखाया गया है। फ़ेज़ विवर्तन (Phase Shift) की विधि, देशित नहीं की गई है, परन्तु ग्रिड वोल्टता की बहुत-सी फ़ेज़ स्थितियों में, फ़ेज़ विवर्तन का औसत धारा प्रवाह पर प्रभाव दिखाया गया है। चित्र 15-19 (*b*) में ग्रिड वोल्टता, पट्टिका वोल्टता से प्रावस्था में है, और इस स्थिति में धारा प्रवाह अधिकतम होता है।

औसत धारा, धारा वक्र के नीचे वाले क्षेत्रफल के समानुपाती होती है। रेखाचित्र के C भाग में, ग्रिड शक्म को 90° अनुगामी किया गया है। इसके कारण जब तक उद्वोद वोल्टता अपने अधिकतम मान तक नहीं पहुँच जाती, तब तक ग्रिड वोल्टता अपने क्रांतिक मान तक नहीं पहुँचती। इस प्रकार धारा-वक्र के नीचे का क्षेत्रफल, अपने पूर्व मान का लगभग आधा ही रह जाता है। यदि ग्रिड वोल्टता का फ़ेज़ इससे अधिक अनुगामी हो, तो नाल का ज्वलन करने का समय और भी देर से होता है ; और वक्र के नीचे का क्षेत्रफल (धारा का औसत मान) बिल्कुल ही कम रह जाता है। इस प्रकार एक थायरेट्रॉन की ग्रिड-वोल्टता के फ़ेज़ विचरण द्वारा, मोटर अथवा दूसरी युक्ति की धारा के औसत मान का पर्याप्त रूप से विचरण कराना संभव है। ऐसा, बहुत कम हानि के साथ, तथा सापेक्षतया कम मूल्यवान उपकरणों द्वारा किया जा सकता है।

फ़ेज़ विवर्तन परिपथ (Phase-Shifting Circuit)

फ़ेज़ विवर्तन परिपथों का उपयोग इतना सामान्य है, कि इन परिपथों के एक प्ररूप का पर्यालोचन किया जायगा। चित्र 15-20 में वोल्टता एक परिवर्तित्र द्वारा प्रदाय की जा रही है, जो मुख्य वोल्टता प्रभव से प्रावस्था में है। यह रेखाचित्र के (*b*) और (*c*) प्रभाग में V_{ab} द्वारा दिखाया गया है। इस परिपथ का प्रदा, स्थिर प्ररोचि प्रतिकारिता तथा विचरणशील उच्च रोध से संघटित एक परिपथ पर आरोपित किया जाता है। जब प्ररोचि प्रतिकारिता के सापेक्ष, रोध अधिक होता है, तो धारा प्रवाह कम होगा, और केवल छोटे कोण द्वारा ही अनुगामी होगा। इसे, रेखाचित्र के (*b*) भाग में देशित किया गया है।

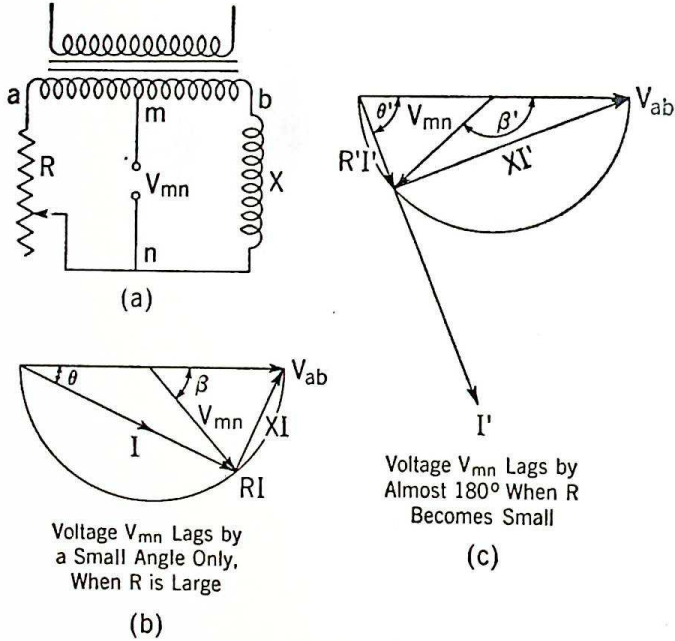
परिवर्तित्र द्वितीयक के मध्य बिन्दु से, X_s और R के बीच के युजन तक की वोल्टता V_{mn}, कोण β द्वारा अनुगामी होगी। कोण β, धारा के अनुगामी कोण θ का दुगुना है। जब रोध काफ़ी कम कर दिया जाता है, तब परिपथ में धारा प्रवाह बहुत अधिक हो जायगा और धारा कोण θ' द्वारा अनुगामी होगी, जो θ से बड़ा होगा। वोल्टता V_{mn} का परिमाण वही रहेगा, परन्तु अब वह कोण β' द्वारा अनुगामी होगी ; जो अब भी कोण θ' का दुगुना होगा। इस

प्रकार वोल्टता V_{mn}, परिमाण में स्थिर है ; परन्तु रोध के मान के परिवर्तन से फ़ेज़ स्थिति में विचरण करती है। एक स्थिर मान का धारित्र तथा विचरण-शील रोधक का प्रयोग करके भी ऐसा ही परिणाम प्राप्त किया जा सकता है। अधिक सामान्यतः, यह विचरण, एक स्थिर रोधक तथा अनुत्रेधन आन्तरक (Saturable Core) प्ररूप का एक विचरणशील प्रतिकारक (Variable Reactor), द्वारा प्राप्त किया जाता है।

Voltage V_{mn} Lags by a Small Angle Only, When R is Large

(b)

Voltage V_{mn} Lags by Almost 180° When R Becomes Small

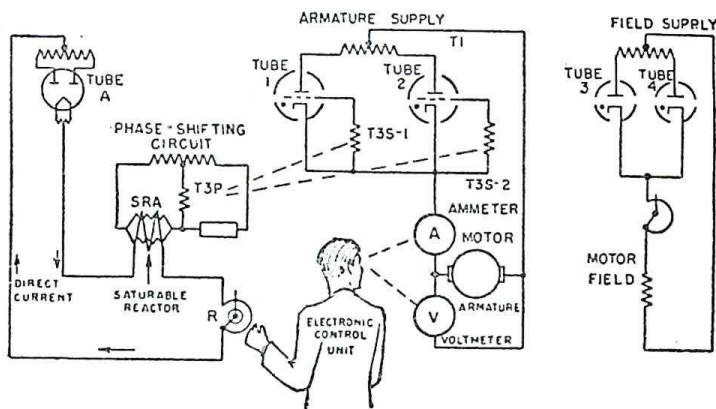
(c)

चित्र 15-20 : **फ़ेज़ नियंत्रण परिपथ**

विभिन्न प्रकार के औद्योगिक उपकरणों में, थायरेट्रॉन का फ़ेज़ नियंत्रण करने के लिये, इस प्रकार के परिपथों का प्रयोग सामान्य है।

अ० धा० मोटरों का थायरेटॉन नियंत्रण

छठे अध्याय में यह दिखाया गया था, कि अ० धा० मोटरों का वेग, क्षेत्र धारा अथवा धात्र वोल्टता के विचरण द्वारा नियंत्रित किया जा सकता है। जब केवल प्र० धा० शक्ति ही उपलब्ध हो, तो अ० धा० मोटरों के नियंत्रण लक्षणों का लाभ उठाने के लिये, मोटर को किसी ऋजुकारी द्वारा प्रदाय करना आवश्यक है।

थायरेट्रॉन (अथवा इग्निट्रॉन) इस प्रयोजन के लिये उपयोग होने वाले सामान्य प्ररूप के ऋजुकारी हैं। थायरेट्रॉन की ग्रिड पर फ़ेज़ नियंत्रण का प्रयोग कर, इन का बहुत ही दक्ष, अत्याधिक हृष, एवं असामान्य नियंत्रण अधि-ष्ठापित करना संभव है। बहुत से आधुनिक मशीन उपकरण (Machine

Tools) के चालकों के लिये, इस प्रकार का नियंत्रण बहुत उपयोगी पाया जाता है।

चित्र 15-21 : थायरेट्रॉन-मोटर-नियंत्रण का एक सरल रेखाचित्र

चित्र 15-21 में, इस प्ररूप के नियंत्रण का एक सरल रेखाचित्र दिखाया गया है। चित्र के दायें भाग में दिखाया गया, मोटर का क्षेत्र परिपथ, दो गैस द्विग्रोद प्रयोग करनेवाले, एक ऋजुकारी द्वारा प्रदाय किया जाता है। रेखाचित्र के मध्य भाग में, मोटर का धात्र दूसरे ऋजुकारी द्वारा प्रदाय किया जाता है, जो ग्रिड पर फ़ेज़ नियंत्रण के साथ दो थायरेट्रॉन नालों का उपयोग करता है।

यह फ़ेज़ नियंत्रण, रेखाचित्र के बाँयें भाग में दिखाया गया है; और सातवें अध्याय में वर्णित नियंत्रण के समान है। परन्तु इसमें रोध स्थिर होता है, और प्ररोचिता का परिमाण एक अनुवेध्य प्रतिकारक (Saturable Reactor) द्वारा विचरण किया जाता है। प्रदाय परिवर्तित्र के मध्य निसूत्रक से रोधक तथा प्ररोचक के बीच फ़ेज़ विवर्तन बिन्दु तक की वोल्टता, परिवर्तित्र के प्राथमिक (जिसे *T3P* द्वारा देशित किया गया है) पर आरोपित की जाती है। इस परिवर्तित्र के दोनों द्वितीयक (T3S-1 और T3S-2) थायरेट्रॉन की ग्रिडों से स्वतंत्र रूप से युजित होते हैं। वे इन नालों के ज्वलन काल का नियंत्रण करते हैं, और इस प्रकार, औसत धात्र धारा का भी नियंत्रण करते हैं।

अनुवेध्य प्रतिकारक की क्रिया अधिक स्पष्ट रूप से उन्नीसवें अध्याय में वर्णित की गई है। इसे यहाँ पर फ़ेज़ विवर्तन का नियंत्रण करने के लिये प्रयोग किया गया है; क्योंकि शून्यक नाल, ऊपर बाँयें कोने में दिखाए गए तीसरे ऋजुकारी की अ० धा० का नियंत्रण करके, सुगमतापूर्वक प्ररोचिता का विचरण कर सकते हैं। सरलता के लिये, अनुवेध्य प्रतिकारक को नियंत्रित करने वाली अव्यवहित धारा, चित्र 15-21 में एक विचरोधक के द्वारा विचरित की जाती हुई दिखाई गई है; परन्तु वास्तविक सज्जा में इसे भी इलेक्ट्रॉनिक रूप से ही नियंत्रित

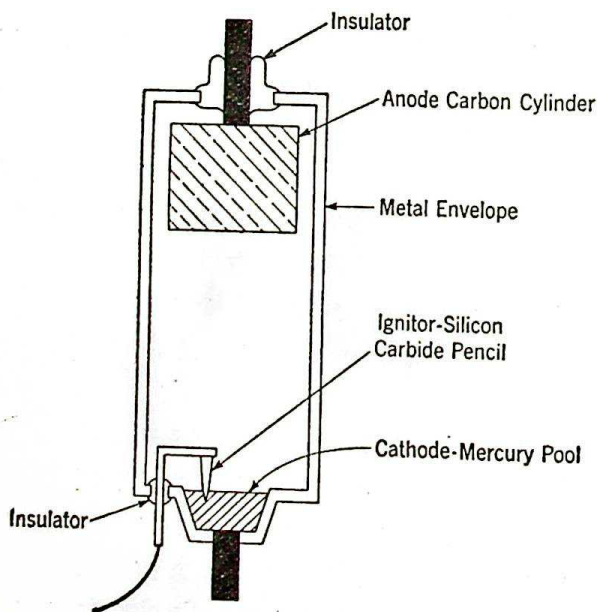
किया जाता है। इलेक्ट्रॉनिक नियंत्रण एकक (Electronic Control Unit), धात्र वोल्टता अथवा धात्र धारा में परिवर्तनों द्वारा कर्मण्यित होता है। धात्र वोल्टता में परिवर्तन, वेग के समानुपाती होता है; तथा धात्र धारा में परिवर्तन, विभ्रमिषा के समानुपात में होता है। इस प्रकार यह नियंत्रण एकक, अपने शून्यक नाल परिपथों द्वारा अनुत्रेध्य प्रतिकारक में तथा इसलिये अ० धा० मोटर में, औसत धारा का विचरण करता है।

क्षेत्र को प्रदाय करनेवाले ऋजुकारी नालों में फ़ेज़ नियंत्रण के साथ ग्रिड लगा कर भी, क्षेत्र का नियंत्रण करना संभव है। इस प्रकार के नियंत्रण, और उपलब्ध इलेक्ट्रॉन एवं क्रमिक टाइमर (Electron and Sequence Timers) द्वारा, अपने आप ही, जटिल मोटर प्रवर्तन भी प्राप्त करना संभव है।

इस नियंत्रण के लगभग सभी वाणिज्यिक प्ररूपों में, बहुत से सुधार किये गये हैं। आवश्यकता होने पर इन्हें निर्माताओं के साहित्य से ज्ञात किया जा सकता है।

इग्निट्रॉन नाल

इग्निट्रॉन नाल, एक तीन अंशक वाला नाल होता है। इसके लक्षण भी थायरेट्रॉन जैसे ही होते हैं; और इसका कई हज़ार अम्पीयर तक की धारा वहन करने के लिये निर्माण किया जा सकता है।

इग्निट्रॉन नाल की बनावट, चित्र 15-22 में दिखाई गई है। निद्वोद,

चित्र 15-22 : इग्निट्रॉन की बनावट

नाल की तली में स्थित एक पारद ताल है। उद्दोद, सामान्यतः, नाल के शीर्ष पर एक विसंवाहक द्वारा आधारित ग्रेफ़ाइट का रम्भ (Graphite Cylinder) होता है। मुख्य धारा युजन, नाल के शीर्ष एवं तली में मोटे तथा काले संवाहकों द्वारा दिखाये गये है। ज्वालक, एक सिलिकॉन कारबाइड की पेन्सिल होती है, जो पारद में डुबाई जाती है।

जब नाल का ज्वलन करना हो, तो ज्वालक और पारे के बीच, एक धारा स्पन्द आरोपित किया जाता है। इस स्पन्द की क्रिया यह है :—धारा प्रवाह के कारण, कार्बोरन्डम पेन्सिल (Carborundum Pencil) तथा पारे के बीच संस्पर्श तल पर, एक या उससे अधिक चाप बन जाती हैं; और इस प्रकार इलेक्ट्रॉनों के प्रारम्भिक प्रदाय का प्रावधान हो जाता है, जो अयनन क्रिया को आरम्भ कर देता है। यह स्पन्द, सामान्यतः, थायरेट्रॉन द्वारा प्रदाय किया जाता है, क्योंकि नाल के प्र० धा० पर प्रवर्तन करने के लिये, उसे प्रत्येक चक्र में ज्वलन करना आवश्यक होता है। स्पन्द को समयानुसार करने के लिये, विभिन्न विधियाँ प्रयोग की जाती हैं, जो नाल की प्रयुक्ति पर निर्भर करती हैं।

इग्निट्रॉन के दो मुख्य औद्योगिक उपयोग हैं। पहला, विभिन्न प्रकार की धातुओं के पृषत् संधान् (Spot Welding) तथा सीम संधान (Seam Welding) में, धारा के परिशुद्ध नियंत्रण के लिये, और दूसरा, औद्योगिक उपयोगों के लिये प्र० धा० का ऋजुकरण करने के लिये। विद्युत् रिले के रूप में, इग्निट्रॉन का एक महत्वपूर्ण लाभ यह है, कि इसमें चलनशील भाग नहीं होते, और इसलिये इसके संधारण में सुगमता होती है। साथ ही साथ, इसमें विशेष नींव की आवश्यकता नहीं होती, और आग लगने की दुर्घटनायें भी कम होती हैं।

बहु-ग्रिड, उच्च शून्यक नाल (Multigrid High-VacuumTubes)

शून्यक नाल त्रिग्रोद के आधार पर इतने अधिक विशेष प्रकार के नालों की रचना हुई है, कि उनमें से अधिकांश का पर्यालोचन करना असंभव है। परन्तु स्क्रीन-ग्रिड नाल [चतुषोद (Tetrode) और पंचोद (Pentode)] इतने विस्तृत रूप में व्यवहार होते हैं कि उनका वर्णन करना आवश्यक है।

चतुषोद अथवा चार अंशक नाल में, नियंत्रण ग्रिड तथा पट्टिका के बीच एक और ग्रिड स्थित होती है। जब नाल को प्रवर्धक के रूप में प्रयोग किया जाता है, तब इस ग्रिड को धनात्मक शक्म दिया जाता है, जो भार पर अनाश्रित हो कर स्थिर रहता है। यह शक्म, बहुधा, अधिकतम पट्टिका वोल्टता के बराबर होता है। यह, दो महत्वपूर्ण प्रकार्य निष्पादित करता है। प्रथम तो यह, पट्टिका से ग्रिड का विद्युत् स्थैतिक युग्मन नहीं होने देता और इस प्रकार ग्रिड परिपथ को अनापेक्षित वोल्टताओं के वापस दिये जाने की संभावना नहीं रहती। ये अनापेक्षित वोल्टतायें, व्याकर्षण (Distortion) तथा दोलन (Oscilla-

tion) भी उत्पन्न कर सकती हैं। इसको स्क्रीन ग्रिड भी इसीलिये कहते हैं; क्योंकि यह नियंत्रण ग्रिड को विचरणशील पट्टिका वोल्टताओं के प्रभाव से बचाती है। इसका दूसरा प्रकार्य, विचरणशील पट्टिका वोल्टता के होते हुए भी, नाल में इलेक्ट्रॉनों के एकसम त्वरण को बनाये रखना है। पट्टिका धारा के बढ़ने पर, पात के कारण, त्रिग्रोद की पट्टिका वोल्टता साधारणतया गिर जाती है। इस प्रकार यह प्रभाव ग्रिड के प्रभाव के विरुद्ध होता है। परन्तु स्थिर वोल्टता वाली स्क्रीन ग्रिड के निवेशित करने पर, नाल की प्रवर्धन क्षमता काफ़ी बढ़ जाती है। सीधे ही प्रवर्धक के रूप में प्रयोग करने पर इसका प्रवर्तन भी, उपर्युक्त सुधार लक्षणों के साथ त्रिग्रोद के समान ही होता है।

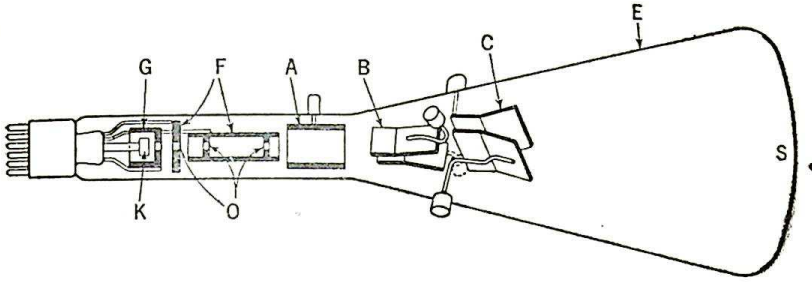
जब पट्टिका स्क्रीन ग्रिड की अपेक्षा, काफ़ी कम धनात्मक होती है, तो निद्वोद से इलेक्ट्रॉनों द्वारा पट्टिका के गोलक्षेपण होने के कारण इलेक्ट्रॉनों के उत्सारण होने से, ग्रिड की ओर कुछ इलेक्ट्रॉन प्रवाह होने लगता है। यह उत्सारण, द्वितीयक उत्सारण कहलाता है। इस नाल के विशेष स्क्रीन ग्रिड धारा लक्षणों का उपयोग करनेवाले, बहुत से परिपथ प्रकल्पित किये गये हैं। परन्तु वे इस पुस्तक के बाहर के विषय हैं।

द्वितीयक उत्सारण के कारण, स्क्रीन ग्रिड परिपथ में धारा के प्रवाह को, अधिकांश प्रवर्धक प्रयुक्तियों के लिये ठीक नहीं समझा जाता। इसलिये, स्क्रीन ग्रिड तथा पट्टिका के बीच में एक और ग्रिड निवेशित कर दी जाती है, जिसे निद्वोद के शक्म पर रक्खा जाता है। यह अल्प शक्म ग्रिड, द्वितीयक उत्सारण के इलेक्ट्रॉनों को स्क्रीन ग्रिड द्वारा आकर्षित नहीं होने देती। तीन ग्रिड वाला ऐसा नाल पंचोद कहलाता है।

निद्वोद किरण नाल (Cathode Ray Tube)

निद्वोद किरण नाल, आजकल मीटरों तथा अन्य उपकरणों में विस्तृत रूप से प्रयोग किये जाते हैं, तथा औद्योगिक मापन समस्याओं में भी इनका विस्तृत प्रयोग होता है। इसलिये इनका वर्णन तथा इनके प्रवर्तन का स्पष्टीकरण करना आवश्यक है। एक प्रारूपिक निद्वोद किरण नाल का रेखाचित्र, चित्र 15-23 में दिखाया गया है।

गर्म निद्वोद K, इलेक्ट्रॉन प्रदाय करता है। ग्रिड G, नाल के मध्य वाले इलेक्ट्रॉनों को, त्वरणकारी विद्योद (Accelerating Electrodes) F और A में से पारण कराती है। ये उद्वोद अपनी विशिष्ट रैखिकीय आकृति के कारण, इलेक्ट्रॉनों को केवल त्वरित ही नहीं करते, वरन् उनको एक सँकरे श्रोत अथवा बीम (Narrow Stream or Beam) में फ़ोकस (Focus) भी कर देते हैं। यह बीम, पट S की ओर निर्देशित होती है। यह पट जो वर्तल होता है, एक चकासत पदार्थ (Luminescent Material) से

लेपित होता है, जो उच्च प्रवेग के इलेक्ट्रॉनों से गोलक्षेपण होने पर चमकने लगता है।

चित्र 15-23 : विद्युत् स्थैतिक व्याकोचन प्ररूप के निद्वोद किरण नाल के विद्योदों के विन्यास का प्रदर्शन करता हुआ एक सरल रेखाचित्र

इलेक्ट्रॉनों की बीम, B पर स्थित समानान्तर पट्टिकाओं के बीच में से पारण करती है। यदि इन पट्टिकाओं पर एक शक्मान्तर आरोपित किया जाय, तो यह इलेक्ट्रॉन बीम, उस पट्टिका की ओर झुक जायेगी, जो अधिक धनात्मक होगी। पट्टिका शक्म का काल के अनुसार विचरण करने पर, स्पॉट (Spot) को पट के ऊपर अपवहित कराया जा सकता है। अल्प समय के लिये, इस अपवहन परिपथ (Sweep Circuit) पर वोल्टता, काल के अनुसार अनुरेखीय (Linearly) रूप में बढ़ती है, और फिर एकाएक शून्य पर वापस आ जाती है, तथा उसके बाद फिर बढ़ने लगती है। जब C पर स्थित नियंत्रण पट्टिकाओं पर (जो B वाली पट्टिकाओं के ऊर्ध्वाधर स्थित होती हैं) एक संज्ञप्ति वोल्टता आरोपित की जाती है, और अपवहन परिपथ की आवर्तिता (Periodicity), संज्ञप्ति वारंवारता के साथ समक्रमित कर दी जाती है, तो संज्ञप्ति पट के ऊपर प्रकट हो जाती है। है। तरंग आकृति, उसका काल के अनुसार विचरण देशित करती है। चूँकि इलेक्ट्रॉन बीम की जड़ता नगण्य होती है, इसलिये यह अति उच्च वारंवारताओं पर प्रतिचारण कर सकती है। इसलिये निद्वोद किरण नाल, अधिकांश मीटरों की परास से परे भी, बहुत उपयोगी होता है।

इस प्ररूप के नाल का एक सबसे महत्वपूर्ण उपयोग टेलीविजन के क्षेत्र में है, जिसमें यह टेलीविजन रिसीवर के रूप में कार्य करता है। सैनिक तथा औद्योगिक मापनों के क्षेत्र में भी, यह नाल विस्तृत रूप में व्यवहार होती है।

सोलहवाँ अध्याय

तापन, संधान तथा विद्युत्-रासायनिक विधायन

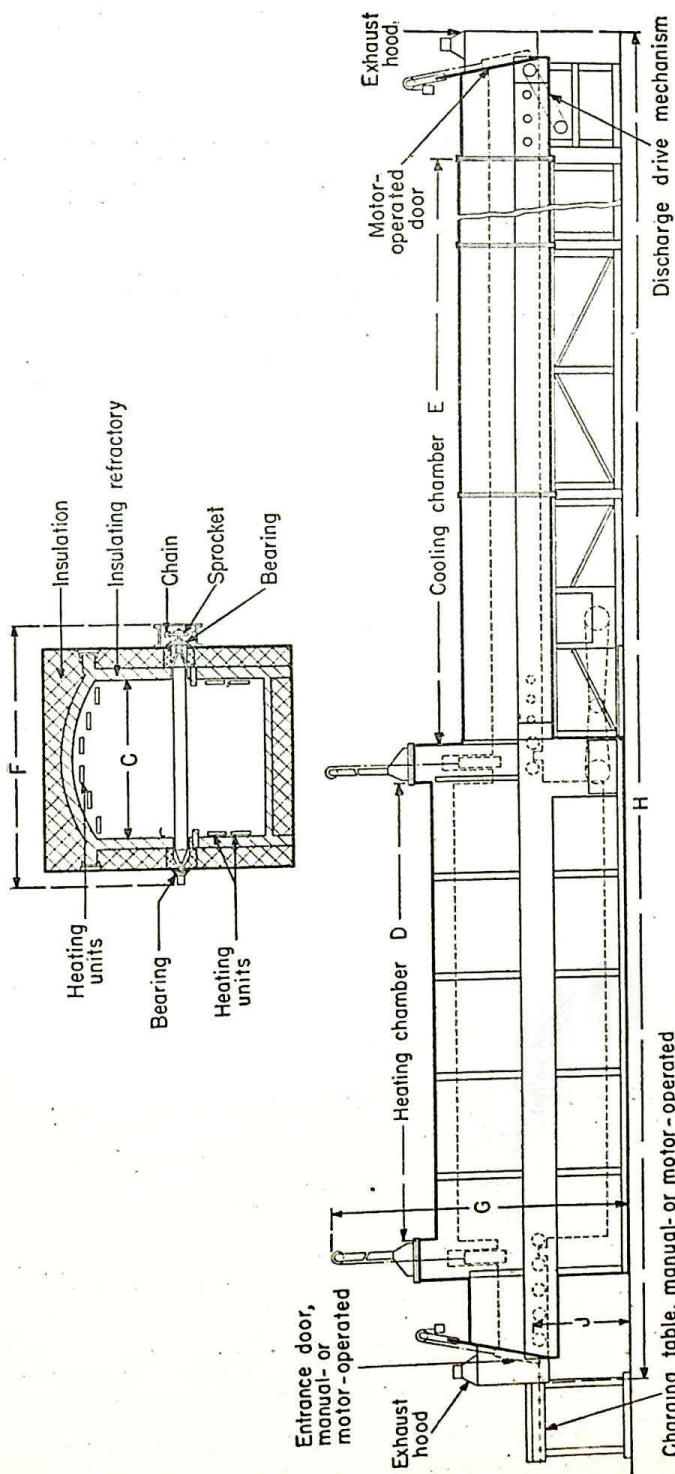
(HEATING, WELDING AND ELECTROCHEMICAL PROCESSES)

तापन

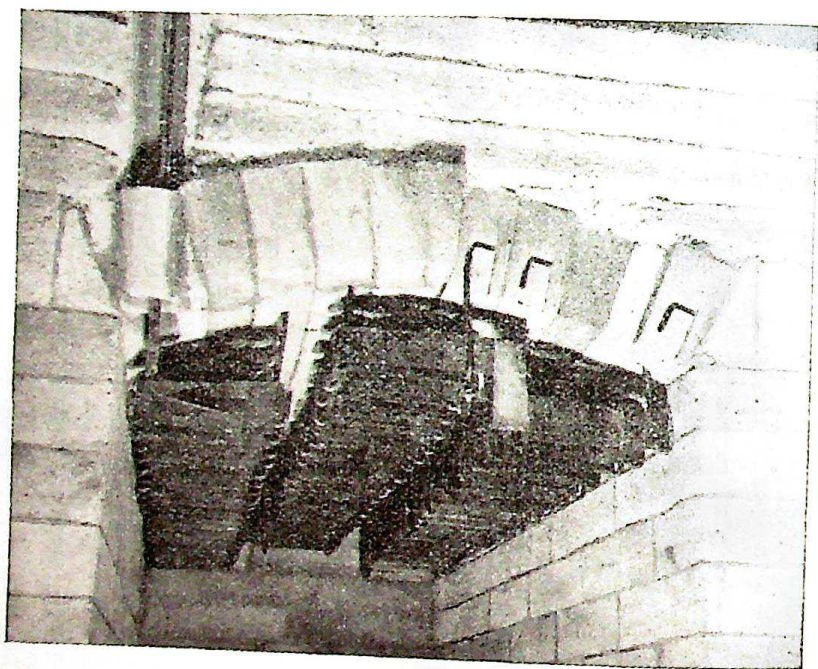
औद्योगिक प्रयोजनों में, विद्युत् तापन के बहुत से लाभ हैं। इसे सुगमता-पूर्वक स्थानीय रूप से प्रदाय किया जा सकता है। तापमान का नियंत्रण भी परिशुद्धता से किया जा सकता है; और भट्ठी के वायुमंडल का नियंत्रण भी सुगमता-पूर्वक हो सक्ता है। इसके द्वारा अति उच्च तापमान प्राप्त हो सकते हैं; और कुछ विशेष प्ररूपों में गरम की जानेवाली वस्तु के विशिष्ट प्रभाग में ताप को स्थानीय रूप से सकेन्द्रित भी किया जा सकता है।

बिजली की केतली तथा चूल्हों में ($400^\circ C$ तापमान से नीचे), तापन, साधारणतया एक तापक रोधक (Heater Resistance) में से धारा को प्रवाहित कर किया जा सकता है। इसमें ताप चालन, संवहन तथा विकिरण द्वारा औद्योगिक पदार्थ तक पहुँचता है। $400^\circ C$ से अधिक तापमान वाली भट्ठियों में, तापन, रोधकों अथवा गर्म किये जानेवाले पदार्थ द्वारा धारा प्रवाहित करके, या उसमें विद्युत्-चुम्बकीय रूप से धारा प्ररोचित करके, अथवा विद्युत् चाप में शक्ति को सकेन्द्रित करके प्राप्त किया जा सकता है। विद्युत् चाप, विकिरण द्वारा और भट्ठी की दीवारों से परावर्तन द्वारा, पदार्थ को गरम करती है। चूँकि तापन की सभी विभिन्न विधियों का विस्तार में वर्णन करना असंभव है; इसलिये यहाँ केवल कुछ विशेष उदाहरण ही दिये जायँगे।

रोधक प्ररूप का तापन (Resistor Type Heating) : अधिकतर दशाओं में गरम किये जानेवाले पदार्थ से, रोधक, पूर्णतया अलग रक्खा जाता है। अतः खाना बनानेवाली केतली में रोधक अंशक साधारणतया केतली के बाहर रक्खे जाते हैं, परन्तु इनका विन्यास इस प्रकार होता है, कि अंशक से केतली को ताप का स्थानान्तरण सुविधापूर्वक हो सके।

अभ्यास 16-1 : एक 50 गैलन की केतली को विद्युत् शक्ति द्वारा गरम करना है। (*a*) यदि केतली को पानी से $70^\circ F$ तापमान पर भरा गया हो, तो आधा घण्टे में उसे $220^\circ F$ तक उबालने में कितनी शक्ति की आवश्यकता होगी? (यह मान लिया जा सकता है, कि 1 गैलन पानी का तापमान $1^\circ F$ तक बढ़ाने में 2·5 वाट-घंटा ऊर्जा की आवश्यकता होगी)। (*b*) इसे 220 वोल्ट अ० धा० अथवा एकीफ़ेज़ प्र० धा० पर कितनी धारा अपेक्षित होगी? (*c*) 220 वोल्ट त्रिफ़ेज़ पर कितनी धारा अपेक्षित होगी? (*d*) यदि पानी के

चित्र 16-1 : प्रारूपिक रौलर-हर्थ भट्ठी (Roller Hearth Furnace)

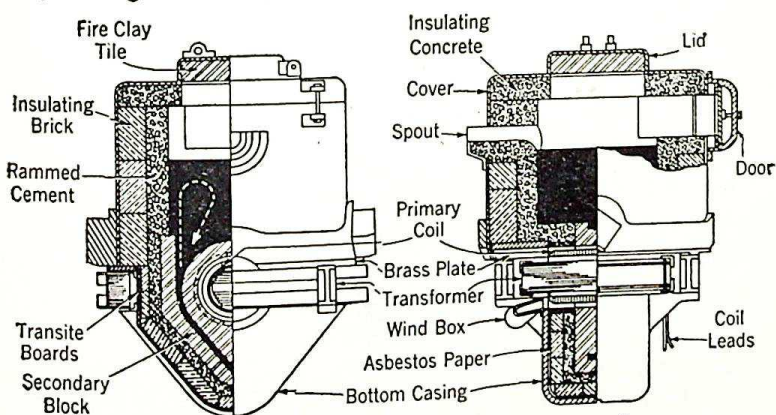
उबलने के समय को 1 घंटा कर दिया जाय, तो कितनी शक्ति की आवश्यकता होगी ?

अनेक उत्पादन विधायनों, जैसे ब्रेज़िग (Brazing), सिन्टरिंग (Sintering) अथवा तापशोधन के लिये बहुत ही सामान्य प्ररूप की रोधक भट्ठी का प्रयोग किया जाता है। उत्पत्ति (Product) को संतत चेन (Continuous Chain) अथवा घूमनेवाले रोलरों (Rollers) द्वारा, भट्ठी के अन्दर भेजा जाता है। रोध अंशक भट्ठी की छत पर लगे होते हैं ; और पार्श्वों में थोड़ा नीचे होते हैं। भट्ठी में एक छोटा प्रवेश प्रकोष्ठ, एक तापन प्रकोष्ठ तथा एक लम्बा शीतन प्रकोष्ठ होता है, जिससे कि ठंढा होते समय पदार्थ में विकार न उत्पन्न हो सके।

चित्र 16-2 : अक्षि-पट्टी वाहक प्ररूप की विद्युत् ताँबा ब्रेंजिग भट्ठी (बिना अन्त प्रकोष्ठ के)। छत में लगे तापक अंशक, हुक, विसंवाहक तथा आरोहण विधि प्रदर्शित करते हुए।

चित्र 16-1 में एक ऐसी ब्रेंजिग भट्ठी दिखाई गई है। इसमें रोध अंशकों की स्थिति भी दिखाई गई है। इनका चयन इस प्रकार किया जाता है कि यथा संभव एकसम तापमान अवस्था प्राप्त हो सके। चित्र 16-2 में इन रोधक अंशकों को छत से लटकाने की विधि भी दिखाई गई है।

अभ्यास 16-2 : नाइक्रोम तार का प्रयोग करने वाली भट्ठी में, एक अंशक जल गया है। यह अंशक अनवरत प्रवर्तन करता था ; तथा ताप का

मुख्य प्रभव था। पुराने अंशक में संवाहक 60 फ़ीट लम्बा था; तथा 120 वोल्ट पर, 150 अम्प० धारा लेता था। अनुभव के आधार पर, यदि आदा शक्ति 15% घटा दी जाय तो प्रवर्तन अधिक संतोषप्रद होगा। यदि $\frac{3}{4}$ इंच चौड़ी और 0·01″ के क्रमों में, 0·03″ से लेकर 0·1″ तक की मोटाई की, नाइक्रोम पट्टिका उपलब्ध हो, तो इस अंशक को ठीक करने के लिये, कितनी मोटाई की कितनी लम्बी पट्टिका की आवश्यकता होगी ?

निमग्न-रोधक प्ररूप की प्ररोचन भट्ठी (Submerged Resistor Type of Induction Furnace) : प्ररोचन प्ररूप की भट्ठी, रोधक प्ररूप की भट्ठी से कुछ भिन्न रूप की होती है। इसमें गरम की जाने वाली धातु परिवर्तित्र के द्वितीयक की भाँति कार्य करती है। इस प्रकार की एक भट्ठी चित्र 16-3 में दिखाई गई है। इस प्ररूप की भट्ठी में, मिश्रातुओं की अदला बदली सुगम नहीं होती, क्योंकि नये मिश्रातु के घान (Charge) को लगाने से पहले, पिछले मिश्रातु के घान को खाली कर देना आवश्यक होता है। इस कारण, इस प्ररूप की भट्ठियाँ, एक ही प्रकार की धातु अथवा मिश्रातु को पिघलाने के लिये प्रयोग में आती हैं; तथा चौबीसों घंटे प्रवर्तन कर सकती हैं। चित्र 16-3 में, द्वितीयक आयताकार अनुप्रस्थ छेद का है, जिसका आकार V के समान है। इस प्रकार की भट्ठी, एक वर्त वाले द्वितीयक के परिवर्तित्र का सरल तथा रोचक उदाहरण प्रस्तुत करती है।

चित्र 16-3 : **आन्तरक प्ररूप की प्ररोचन भट्ठी**

उदाहरण : चित्र 16-3 में दिखाई गई जैसी भट्ठी के लिये अपेक्षित, प्राथमिक वर्त संख्या तथा लौह आन्तरक का आकार निकालिये। प्रवर्तन दशायें निम्नलिखित हैं।

(*a*) प्राथमिक वोल्टता = 220 वोल्ट

(*b*) गलाने के लिये प्रयुक्त अधिकतम शक्ति धारिता = 60 KW.

(*c*) रात भर तापमान को स्थिर रखने के लिये आवश्यक शक्ति = 8 KW.

(*d*) V आकार के खाँचों का अनुप्रस्थ छेद $=1'' \times 3''$.

(*e*) उपर्युक्त खाँचे की लम्बाई $=40''$.

(*f*) पिघली हुई धातु की रोधिता* $=40$ माइक्रोओम प्रति घन इंच

(*g*) आन्तरक में अनुमत स्यंद घनत्व $=75000$ रेखा प्रति वर्ग इंच।

समाधान : द्वितीयक परिपथ का रोध,

$$R=\rho\frac{l}{A}=40\times 10^{-6}\times\frac{40}{3}.$$

$$=5{\cdot}33\times 10^{-4} \text{ ओम}$$

अधिकतम शक्ति की दशा में, द्वितीयक में उत्पन्न ताप,

$$P=I^2R, \text{ or } 60{,}000=I^2\times 5{\cdot}33\times 10^{-4}.$$

$$\therefore \quad I^2=1{\cdot}13\times 10^8.$$

अथवा $I=10{,}600$ अम्प० (अधिकतम शक्ति के लिये)

इस धारा को उत्पन्न करने के लिये अपेक्षित वोल्टता,

$$IR=10600\times 5{\cdot}33\times 10^{-4}=5{\cdot}65 \text{ वोल्ट}$$

अधिकतम शक्ति के लिये प्राथमिक वर्त संख्या

$$\frac{220}{5{\cdot}65}=39 \text{ वर्त}$$

अल्पतम शक्ति के लिये, द्वितीयक में तापन,

$$P=I^2R=8000 \text{ वाट}$$

$$\therefore \quad I^2=\frac{8000}{5{\cdot}33\times 10^{-4}}=15\times 10^6$$

$$\text{or } I=3870 \text{ अम्प०}$$

प्रति वर्त वोल्टता,

$$IR=3870\times 5{\cdot}33\times 10^{-4}=2{\cdot}071 \text{ वोल्ट}$$

अपेक्षित प्राथमिक वर्त संख्या $=\frac{220}{2{\cdot}071}=106$ वर्त

अल्पतम शक्ति की दशा में प्राथमिक धारा $=\frac{3870}{106}=36{\cdot}6$ अम्प०

आन्तरक का अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल ज्ञात करने के लिये, पहले अपेक्षित स्यंद का परिमाण ज्ञात करना आवश्यक है।

$$e \text{ प्रति वर्त}=\frac{d\phi}{dt}\times 10^{-8}=E_{max}\sin 2\pi ft.$$

$$\text{अथवा } d\phi=10^8 E_{max}\sin 2\pi ft dt.$$

---

* यह 1 इंच के घन के विपरीत तलों के बीच का रोध है।

अनुकलन द्वारा, $\phi = 10^8 \ E_{max} \int \sin 2\pi ftdt.$

$$= -10^8 \ \frac{E_{max}}{2\pi f} \cos 2\pi ft.$$

$$\therefore \quad \phi_{max} = \frac{E_{max}}{2\pi f} \times 10^8$$

$$= \frac{5{\cdot}65 \times \sqrt{2} \times 10^8}{2\pi \times 60} = 2120000 \text{ रेखायें}$$

अपेक्षित अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल$= \frac{2120000}{75000} = 28$ वर्ग इंच।

इसलिये $5'' \times 5{\cdot}6''$ का एक आन्तरक संतोषप्रद होगा।

दृष्टान्त के रूप में दिया गया उदाहरण, यह देशित करता है कि प्राथमिक वर्तन में वर्त संख्या बढ़ाने से, प्ररोचन भट्ठी में शक्ति घट जाती है। यह उदाहरण, एक ऐसी भट्ठी की प्रारम्भिक प्ररचना की विधि भी देशित करती है। यहाँ पर च्यावी प्रतिकारिता के प्रभावों को नगण्य माना गया है, किन्तु वास्तविक प्ररचना में इनको ध्यान में रखना आवश्यक होता है।

अभ्यास 16-3 : चित्र 16-3 जैसी ही 100 K.W. की एक प्ररोचन भट्ठी का न्यास (Data) निम्नलिखित है :

(*a*) प्राथमिक वोल्टता=440 वोल्ट

(*b*) अधिकतम आदा शक्ति=100 कि० वा०

(*c*) अल्पतम आदा शक्ति=10 कि० वा०

(*d*) *V* खाँचा $1{\cdot}25'' \times 3''$ आकार का और 60 इंच लम्बा है।

(*e*) पिघली हुई धातु की रोधिता=25 μ ओम प्रति घन इंच।

(*f*) अनुमत स्यंद घनत्व=65000 रेखा प्रति वर्ग इंच

प्राथमिक वर्तन में अधिकतम तथा अल्पतम शक्ति की अवस्थाओं के लिये कितने वर्तों की आवश्यकता होगी? प्राथमिक वर्तन में, सभी संवाहक, एक ही आकार के होंगे अथवा दो विभिन्न आकार प्रयोग किये जाँयगे? क्यों? आन्तरक का अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल कितना होना चाहिये?

विद्युत् चाप भट्ठियाँ (Electric Arc Furnaces) :—ढलाई के लिये प्रयोग होने वाले इस्पात का परिष्करण (Refining), अधिकतर विद्युत भट्ठियों में होता है। इनमें तीन बड़े कार्बन दण्डों तथा धातु के तल के बीच चाप के द्वारा ताप की उत्पत्ति की जाती है। शक्ति प्रदाय, उच्च प्रतिकारिता के एक बड़े त्रिफ़ेज़ परिवर्तित्र के द्वारा होता है, जिससे चाप-धारा नियंत्रण सुगमता पूर्वक हो सके। चाप का रोध ऋणात्मक होता है—अर्थात् अल्प वोल्टता के आरोपित करने पर भी, धारा अनिश्चित रूप से बढ़ जायगी। इसलिये

परिवर्तित्र की उच्च प्रतिकारिता, धारा को, भट्ठी नियंत्रण के व्यवस्थापन के अनुसार एक निर्दिष्ट मान तक सीमित रखती है।

निमग्न रोधक प्ररोचन भट्ठी, तथा चाप भट्ठी दोनों ही में, शक्ति खंड 50 प्रतिशत से लेकर 85 प्रतिशत तक होता है। अल्प शक्ति खंड, साधारणतया संतोषप्रद नहीं होता ; इसलिये इसके सुधार के लिये, परिवर्तित्र प्राथमिक के आर-पार स्थिर मान के धारित्रों का अधिष्ठापन कर दिया जाता है। इस प्रकार प्ररोचि प्रतिकारी धारा को लम्बी विद्युत लाइनों में बहने देने की अपेक्षा, स्थानीय रूप से धारित्र द्वारा प्रदाय किया जाता है। इस प्रकार धारित्र के प्रयोग से, विद्युत शक्ति के पारेषण तथा विभाजन लाइनों में ताँबे की काफ़ी बचत की जा सकती है।

उच्च वारंवारता प्ररोचन तापक (High Frequency Induction Heaters) : गियर तथा वेलनों के तलों के ताप शोधन के लिये तथा ब्रेज़िग और संधान में स्थानीय क्षेत्रों को गरम करने के लिये, उच्च वारंवारता की धाराओं का प्रयोग, विस्तृत रूप में होता है। उच्च वारंवारता धारा, जलशीतित ताम्र नली (Water-cooled Copper Tubing) से प्ररोचन द्वारा, गरम किये जाने वाले भाग को प्रदाय की जाती है। इस प्रकार यदि एक छोटा गियर, एक कुंडल के मध्य में रख दिया जाय और कुंडल में उच्च वारंवारता धारा प्रवाहित की जाय तो कुंडल, परिवर्तित्र के प्राथमिक का कार्य करेगा ; और गियर उसके द्वितीयक का। जैसा कि परिवर्तित्र के सिद्धान्तों में स्पष्ट किया गया था, द्वितीयक (अर्थात् गियर) में धारा प्रवाहित होने का प्रयास करेगी जो प्राथमिक धारा के चुम्वक गामक बल का विरोध करेगी। इस प्ररूप के परिवर्तित्र में, प्राथमिक में धारा लगभग एकसम रहती है ; और इसलिये द्वितीयक धारा, प्राथमिक के अधिकांश चु० गा० ब० का निष्फलन कर देती है और उस स्यंद को न्यूनतम मान पर सीमित रखती है। ऐसा करने के लिये द्वितीयक धारा, यथा संभव, कुंडल के समीप प्रवाहित होती है। अतः परिनालिका के अन्दर रखे हुए गियर अथवा रम्भाकार वस्तु में धारा तल में ही प्रवाहित होगी। यह तथ्य, लोहे तथा इस्पात के लिये, जो अच्छे चुम्बकीय संवाहक होते हैं, विशेष रूप से सत्य है।

अति उच्च वारंवारताओं पर, तथा उच्च धारा प्रवाह पर यह संभव है, कि गियरों के तल को दृंहण (Hardening) तापमान तक गर्म किया जा सके परन्तु ताप गर्म किये जाने वाले भाग में एक इंच के सौवें भाग से अधिक अन्दर की ओर वेधन न कर सके। द्वितीयक धारा की, बाहरी तल पर बहने की इस प्रवृत्ति को कभी कभी **तल-विपाक** (Skin Effect) भी कहते हैं।

जहाँ उच्च वारंवारता का प्रयोग, संधियों के संधान तथा ब्रेज़िंग के लिये स्थानीय तापन का प्रावधान करने के लिये किया जाता है, वहाँ पर उच्च वारंवारता कुंडलों को संधियों के तल के यथासंभव समीप रखना चाहिये, क्योंकि

विचुम्बकीय पदार्थों में भी, द्वितीयक अथवा गर्म होने वाले भाग में धारा, यथा-संभव कुंडलों के समीप बहने की चेष्टा करेगी। इस विधि से, द्वितीयक में धारा का नियंत्रण इस प्रकार किया जा सकता है, कि केवल उसी स्थान पर ताप उत्पन्न हो, जहाँ वह सबसे अधिक प्रभावी होता है। यह चित्र 16-5 में दिखाया गया है, जहाँ प्राथमिक कुंडल इस प्रकार स्थित हैं, जिससे वे तापन को, सांधित अथवा ब्रेज की जाने वाली संधियों के साथ-साथ सकेन्द्रित कर सकें।

यद्यपि उच्च वारंवारता तापन कुंडलों के अभिकल्प का अंतिम समाधान, सामान्यतः, प्रायोगिक विधि द्वारा किया जाता है तथापि निम्नलिखित नियम सहायक सिद्ध हो सकते हैं।

(1) कुंडलों की आकृति, गरम किये जाने वाले भाग के जैसी ही होनी चाहिये।

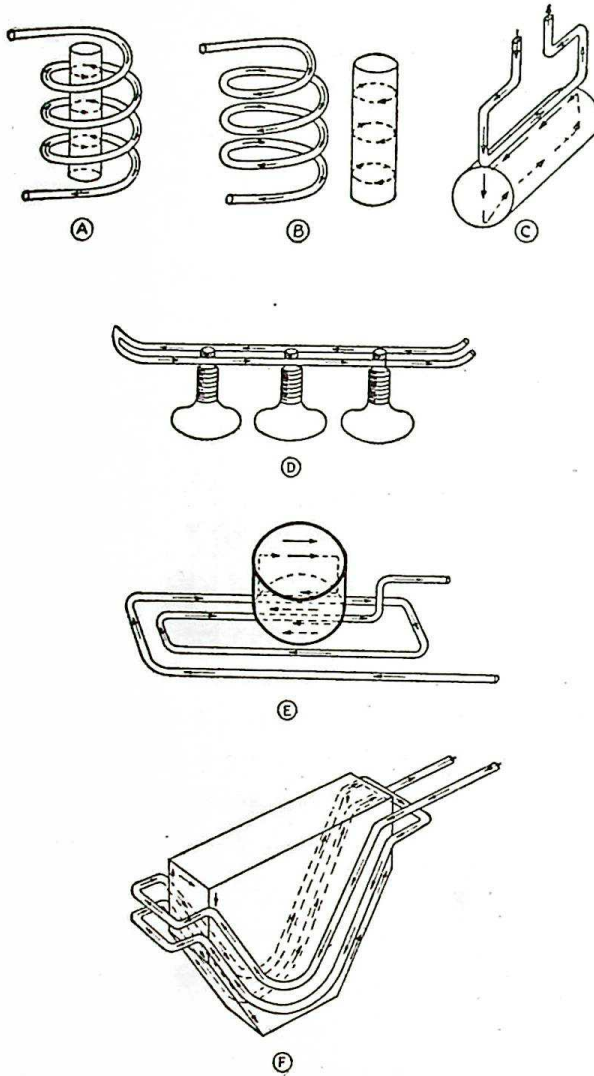
(2) यदि संभव हो सके, तो गरम किये जाने वाले भाग को कुंडल के मध्य में केन्द्रित रखना चाहिये।

(3) तीव्र अथवा बाहर निकले हुए कोने सबसे पहले गरम होने का प्रयत्न करेंगे, क्योंकि ये, सामान्यतः, कुंडलों के सबसे निकट होंगे और उनका भार भी सबसे कम होगा। इसलिये कुंडलों की आकृति का व्यवस्थापन इस प्रकार होना चाहिये, कि वह कोनों से यथासंभव दूर रहे।

(4) जब दो भिन्न धातुओं को एक साथ ब्रेज़ करना हो तब धारा को कम रोध और कम अतिवेध्यता वाली धातु पर सकेन्द्रित करना चाहिये। ताँबा तथा चाँदी, धीरे-धीरे गर्म होते हैं, पीतल शीघ्रता से गर्म होता है और इस्पात अतिशीघ्र गरम हो जाता है। इसलिये कुंडल को सापेक्षतया ताँबे, चाँदी, पीतल के समीप तथा इस्पात से दूर रखना चाहिये।

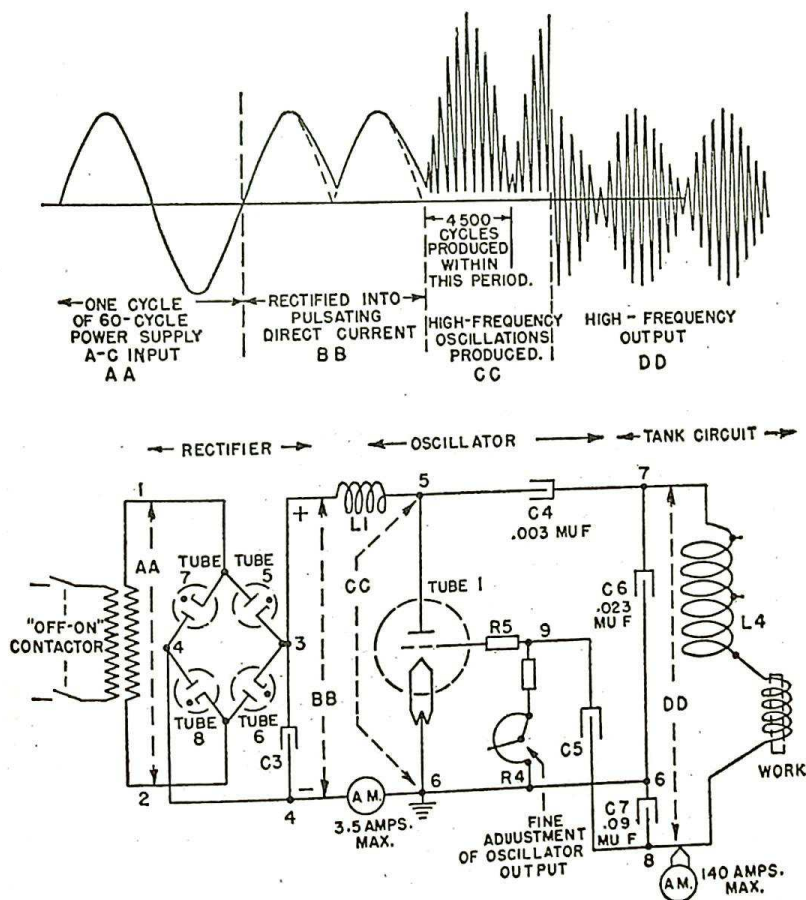
(5) ब्रेज़ किये जाने वाले पदार्थ को पहले उचित तापमान तक गरम कर लेना चाहिये ; और तब ब्रेज़ मिश्रातु (Brazing Alloy), संधि में लेनी चाहिये। इसलिये ब्रेज़ मिश्रातु को कुंडलों से यथासंभव दूर रखना चाहिये।

(6) गरम किये जाने वाले पदार्थ के चारों ओर एकसम तापन के लिये, उसको गर्म किये जाते समय घुमाना आवश्यक हो सकता है।

प्ररोचन तापन, अधिकतर, 1000, 3000, या 10,000 चक्र से अधिक की वारंवारताओं पर किया जाता है। इन वारंवारताओं पर शक्ति प्रदाय, मोटर जनित्र सेट द्वारा की जाती है। जहाँ पर आवरण दृंहण (Case Hardening) अथवा संधान या ब्रेज़ करने के लिये, एक संधि को गरम करना हो, और तापन एक पतली तह तक ही सीमित रखना हो, वहाँ बहुधा 20000 से 50000 चक्र तक की वारंवारता प्रयोग की जाती है और बड़ी मात्रा में आदा शक्ति की आवश्यकता होती है। ऐसी दशा में, उच्च वारंवारता पर शक्ति, शून्यक नाल दोलकों के द्वारा प्रदाय की जाती है।

चित्र 16-5 : गरम किये जानेवाले भागों तथा इलेक्ट्रॉनिक तापक कुंडलों में धारा प्रवाह को प्रदर्शित करनेवाले रेखाचित्र

चित्र 16–6 में एक दोलक परिपथ का रेखाचित्र दिखाया गया है। इसमें दोलक नालों की पट्टिकाओं को एकी दिशा (Unidirectional) वोल्टता प्रदाय करनेवाले ऋजुकारी, दोलक नाल तथा उसका परिपथ और टंकी परिपथ दिखाया गया है। टंकी परिपथ, वस्तुतः एक दोलक परिपथ ही होता है, जो प्रत्येक दोलन चक्र में, दोलक नाल द्वारा दी गई स्पन्दों से उद्दीप्त किया जाता है। टंकी परिपथ के धारि प्रभाग को दो भागों में विभाजित किया गया है, जिससे वोल्टता का एक प्रभाग, ग्रिड परिपथ में वापस भेजा जा सके, और दोलनों को बनाए रक्खा जा सके। दोलक नाल की स्वयं अभिनति के प्रभाव का परिवर्तन

करने के लिये और इस प्रकार प्रदा शक्ति को नियंत्रित करने के लिये, ग्रिड-च्यवन रोध (Grid Leak Resistance) का विचरण किया जाता है। यह विचरण, चित्र में दोलक प्रदा के सूक्ष्म व्यवस्थापन द्वारा देशित किया गया है। चित्र के ऊपर वाले भाग में तरंग रेखाचित्र, सज्जा के विभिन्न भागों में प्रवाहित होनेवाली धारा प्रवाह के प्ररूप को देशित करता है।

यही अथवा ऐसी ही सज्जा, प्लास्टिक निरंकों (Plastic Blanks) को ढलाई के पहले गरम करने के काम में लाई जाती है। इस दशा में, गरम की जानेवाली वस्तु को परिपथ के प्ररोचि भाग में न रख कर टंकी परिपथ के धारित्र पर्णों के बीच में रक्खा जाता है। पारविद्युत् बलों के तीव्र विचरण के

चित्र 16-6 : इलेक्ट्रॉनिक तापक का एक सरल रेखाचित्र

कारण उत्पन्न होने वाली हानियाँ, पदार्थ को शीघ्रता से गरम कर देती हैं। चूँकि ये हानियाँ पदार्थ के सभी भागों में समान रूप से विभाजित होती हैं, इसलिये सब का सब पदार्थ (प्लास्टिक निरंक) एकसम रूप से गरम होता

है। इसके लिये 1 से ले कर 100 मेगा चक्र तक की वारंवारता प्रयोग की जाती है।

उच्च वारंवारता सज्जायें, अधिक मँहगी होती हैं; और सामान्यतः, इनकी शक्ति दक्षता कम होती है। परन्तु उनके द्वारा ऐसे तापन परिणाम प्राप्त होते हैं, जो अन्य विधियों से नहीं प्राप्त हो सकते। इस विधि से किसी विशिष्ट क्षेत्र में ताप को सकेन्द्रित करने की योग्यता से उत्पादन में भी काफ़ी बचत हो सकती है, जो इस सज्जा पर लगाये गये मूल्य का औचित्य सिद्ध करेगी।

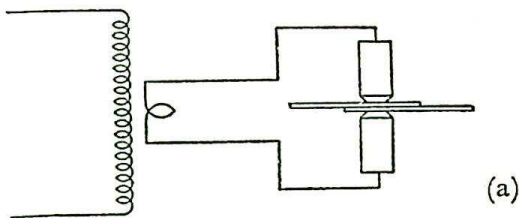
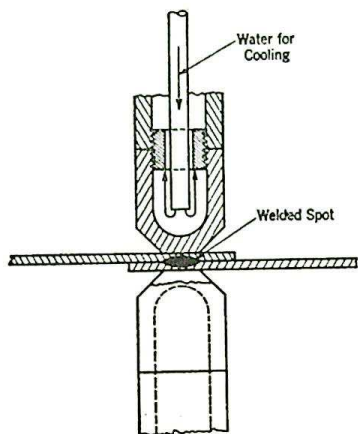
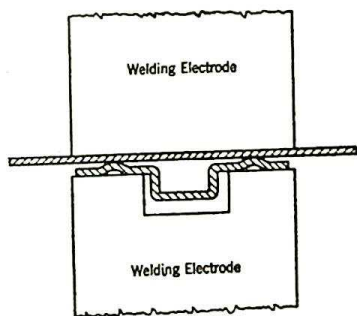
अभ्यास 16-4 : चित्र 16-6 के परिपथ रेखाचित्र का विश्लेषण कीजिये और प्रत्येक परिपथ अंशक का कार्य ज्ञात करिये।

संधान (Welding)

चाप संधान (Arc Welding) : विद्युत् चाप संधान में, सकेन्द्रित उच्च तापमान उत्पन्न करने के लिये, विद्युत् चाप का प्रयोग किया जाता है। विद्युत् चाप, संधानित किये जानेवाले पदार्थ को स्थानीय ताप प्रदाय करती है और साथ ही साथ विद्योद को पिघलाती है, जिससे कि वह संधि में बह सके। जिस समय विद्योद को संधि के आर-पार आगे पीछे ले जाया जाता है, तो चाप के आर-पार वोल्टता पात में काफ़ी विचरण उत्पन्न होता है। सफल संधान के लिये, इस वोल्टता विचरण के होने पर भी धारा का एकसम रहना आवश्यक है।

चाप संधान में अ० धा० एवं प्र० धा० दोनों ही प्रयोग की जाती हैं। जहाँ अ० धा० प्रयोग की जाती है, वहाँ प्रत्येक संधाता (Welder) के लिये, शक्ति, अलग-अलग जनित्रों द्वारा प्रदाय की जाती है। इस जनित्र का अभिकल्प, वोल्टता के विस्तृत परास पर एकसम धारा देने के लिये किया जाता है। चाप वोल्टता, सामान्यतः, 20 वोल्ट से ले कर 40 वोल्ट तक होती है। जब संधान के लिये प्र० धा० प्रयोग की जाती है, तो इसे उच्च प्रतिकारिता वाले परिवर्तित्र द्वारा प्रदाय किया जाता है। चाप की प्रकृति, रोध के समान होती है। इसलिये इसके आर-पार की वोल्टता में काफ़ी विचरण होने पर भी, अवबाधिता में विशेष अन्तर नहीं आने पाता (उच्च प्रतिकारिता के कारण) और इस प्रकार धारा प्रवाह भी लगभग अप्रभावित ही रहता है। परिवर्तित्र के वर्त अनुपात में परिवर्तन करके, द्वितीयक अथवा चाप धारा के परिमाण का व्यवस्थापन किया जा सकता है। यह प्ररोचन भट्ठी के पर्यालोचन में समझाया जा चुका है।

यद्यपि चाप संधान, अधिकतर, हाथ से किया जाता है, परन्तु औद्योगिक उत्पादन के क्षेत्र में, स्वयं चलित चाप संधान सज्जा का विकास और प्रयोग शीघ्रतापूर्वक प्रगति कर रहा है।

बिन्दु संधान (Spot Welding) : विभिन्न प्ररूपों के रोध संधानों में, बिन्दु संधान सबसे सरल तथा सर्वसामान्य है। इसमें दो पट्टिकाओं के बीच के तल

चित्र 16–7 : (*a*) रोध संधान का सरल रेखाचित्र
(*b*) जल शीतित विद्योद तथा वेल्ड की स्थिति। (*c*) उठा हुआ संधान

पर, तल स्पर्श के उच्च रोध के कारण, उच्च स्थानीय तापमान प्राप्त किया जाता है। जब पिघलने का तापमान उत्पन्न हो जाता है, तब उसी समय उच्च दबाव के आरोपित करने से, बिन्दु संधान प्राप्त किया जाता है। शीट-धातु (Sheet Metal) से बने भागों के निर्माण में, बिन्दु संधान का प्रयोग सबसे अधिक होता है।

एक परिवर्तित्र द्वितीयक से 2 से 12 वोल्ट तक की वोल्टता प्राप्त की जाती है; और 5000 से 75000 अम्प० तक की धारा को विद्योदों तक, आनम्य वाहकों (Flexible Leads) के द्वारा ले जाया जाता है। ये विद्योद बहुत भारी

होते हैं, और सामान्यतः जल शीतित होते हैं। इसे चित्र 16–7 (*a*) में दिखाया गया है; और संधि का अनुप्रस्थ काट, चित्र के (*b*) भाग में, बढ़ा कर दिखाया गया है। विद्योदों की उच्च संवाहिता तथा अल्प तापमान, इनके बाहरी तलों को अत्याधिक गरम होने से बचाते हैं। धातु पर्णों के बीच, सापेक्षतया अधिक रोध के कारण, एक तीव्र-ताप बिन्दु उत्पन्न हो जाता है, जो धातु को पिघला देता है; और संधान सज्जा द्वारा विद्योदों पर उत्पन्न दबाव, संधान क्रिया को पूर्ण कर देता है। सबसे अच्छे परिणाम के लिये, संधान धारा का काल नियंत्रण, परिशुद्धता पूर्वक होना चाहिये। इस प्रयोजन के लिये, इलेक्ट्रॉनिक टाइमर (Electronic Timer) बहुत उपयोगी होता है। ऐसे नियंत्रण के द्वारा, प्रभावी पिघलन के लिये पर्याप्त ऊर्जा प्रदाय की जा सकती है, परन्तु इतनी अधिक भी नहीं, कि धातु उचित मोटाई से अधिक पिघले या जल जाय।

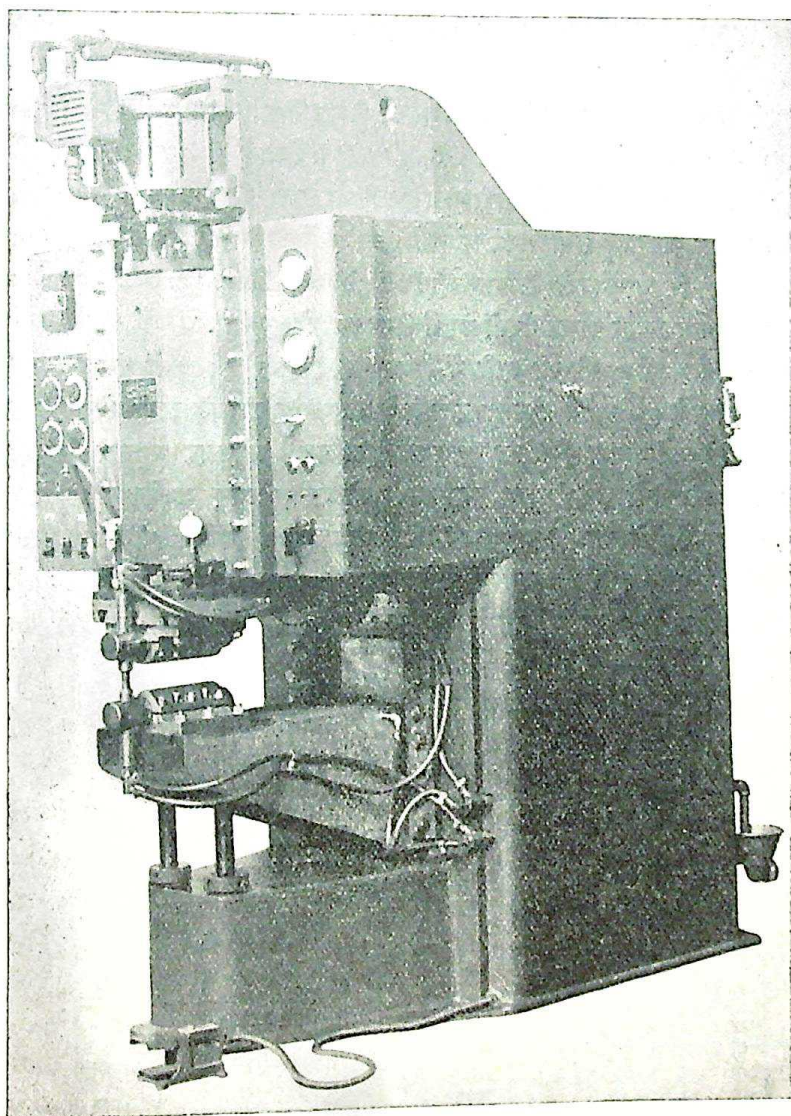
चित्र 16–7 (*c*) में, बिन्दु संधान की एक भिन्न विधि दिखाई गई है जिसमें एक पर्ण पर थोड़ा प्रक्षेप (Projection) स्थित किया गया है। इस विधि के द्वारा, धारा को बहुत अच्छी प्रकार सकेन्द्रित किया जा सकता है और अधिक परिशुद्ध संधान प्राप्त होता है।

जब पिघलन होने लगता है, तब विद्योद, का दबाव, पर्णों को एक साथ मिला देता है और इस प्रकार अन्तिम परिणाम बहुत कुछ वैसा ही होता है जैसा चित्र (*b*) में दिखाया गया है। वाणिज्यिक बिन्दु संधाताओं का अभिकल्प, साधारणतया, धारा के स्वयंक्रिय काल नियंत्रण (Automatic Timing Control) सहित होता है, और दबाव, एक आम्भसी पिस्टन द्वारा डाला जाता है। स्वयंक्रिय नियंत्रण युक्त एक बड़े संधाता (Welder) का फ़ोटो चित्र 16–8 में दिखाया गया है।

सीम संधान (Seam Welding) : सीम संधान, बिन्दु संधान का ही एक भिन्न रूप है। इसमें, विद्योद गोल बेलनाकार होते हैं, और पदार्थ को इनके बीच उसी प्रकार प्राशित किया जाता है, जिस प्रकार सिलाई मशीन में कपड़े को। बेलनों पर दबाव अनवरत रक्खा जाता है, और धारा की आवर्ती उल्लोल (Surge) एक के बाद एक अतिछादित (Overlapping) बिन्दु संधान उत्पन्न करती जाती है, जिससे अनवरत सीम संधान प्राप्त होता है। धारा, थायरेट्रॉन परिपथों द्वारा नियंत्रित की जाती है, जिसके द्वारा संधान किये जाने-वाले पदार्थों की आवश्यकतानुसार धारा के खुले अथवा बन्द रहने की अवधि (On and Off Period) का नियंत्रण होता है।

विद्युत रासायनिक विधायन (Electrochemical Processes)

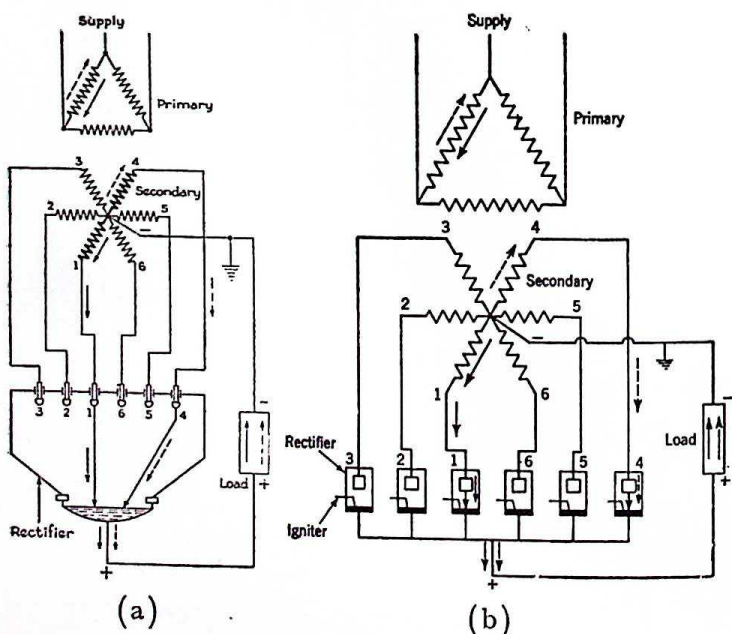
अमरीका में उत्पादित विद्युत् शक्ति का 15–20% भाग, विद्युत् रासायनिक विधायनों में ही उपयोग किया जाता है। यह अधिकतर अल्यूमीनियम, मेगनी-

शियम, ताँबा, जस्ता, सोडियम तथा क्लोरीन के उत्पादन में प्रयोग होती है। विद्युत्-रासायनिक विधियों का प्रयोग करनेवाले अन्य रासायनिक पदार्थों में,

चित्र 16-8 : सामान्य प्रयोजन के लिये वायु-प्रवर्तित, दाब प्ररूप का बिन्दु संधाता (इलेक्ट्रानिक नियंत्रण सहित)

पिघला नमक (Fused Sodium Chloride), हाइड्रोजन, मैंगनीज़, पोटेशियम-पर-क्लोरेट (Potassium perchlorate) और सोडियम क्लोरेट हैं। इन भिन्न-भिन्न पदार्थों के उत्पादन की विधियों में अनेक छोटी-छोटी

विभिन्नतायें हैं, किंतु ये सभी, विद्युत् रासायनिक कोशाओं की माला में अ० धा० प्रवाह का उपयोग करते हैं, और इस प्रकार विद्युत् प्रदाय के दृष्टिकोण से ये सभी समरूप हैं।

पारद चाप ऋजुकारी (Mercury Arc Rectifier), 600 वोल्ट के निकट सबसे संतोषप्रद प्रवर्तन करते हैं। इसलिये इस वोल्टता पर प्रवर्तन करने के लिये, पर्याप्त कोशों की माला को युजित रक्खा जाता है। धाराओं का परास 1000 अम्प से 60000 अम्प० तक होता है। विद्युत् रासायनिक विधायनों को, सामान्यतः, ऋजुकारीयों द्वारा ही प्रदाय किया जाता है। इसलिये ऋजुकारियों के मूलभूत सिद्धान्त तथा मुख्य प्रवर्तन समस्याओं का पर्यालोचन किया जायगा।

बहुफ़ेज़ी ऋजुकारी सिद्धान्त (Polyphase Rectifier Theory) : बहुफ़ेज़ी पारद चाप ऋजुकारियों का संक्षिप्त पर्यालोचन चौदहवें अध्याय में किया गया था। ऋजुकारी की तली में स्थित पारद ताल, इलेक्ट्रॉनों का अनवरत प्रभव होता है। उद्वोद तथा पारद ताल के बीच चाप, टंकी के चारों ओर एक के बाद दूसरे उद्वोद का, (अधिक धनात्मक होने पर) लगातार अनुसरण करता है। इन उद्वोदों की वोल्टता, ऋजुकारी को शक्ति प्रदाय करनेवाले बहुफ़ेज़ी परिवर्तित्र की वोल्टता के अनुसार निश्चित होती है। परिवर्तित्र युजन भिन्न प्ररूपों के होते हैं; किन्तु सभी में उद्वोद वोल्टता काल-क्रम में एक के बाद दूसरे के अधिकतम मान पर पहुँचती है। एक 50 चक्रीय, त्रिफ़ेज़ ऋजुकारी में यह

चित्र 16-9 : (*a*) **छः उद्वोद पारद चाप ऋजुकारी**
(*b*) **छः एकी उद्वोद इग्निट्रॉन उसी कार्य के लिये युजित।**

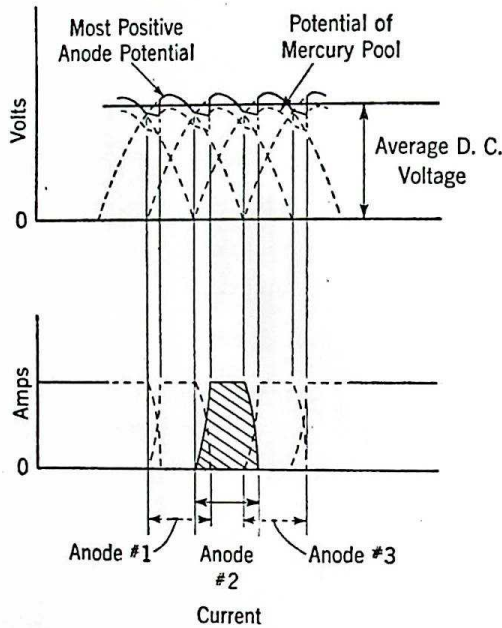
काल-क्रम, 120° अथवा सेकंड का 1/150 वाँ भाग होता है। एक छः फ़ेज़ी ऋजुकारी में यह क्रम अन्तराल 60° अथवा 1/300सेकंड तथा बारह फ़ेज़ी ऋजुकारी में 30° अथवा 1/600 सेकंड होता है।

एक बारह फ़ेज़ी ऋजुकारी को अ० धा० की ओर से, समानान्तर में युजित दो छः फ़ेज़ी ऋजुकारियों के समान समझा जा सकता है ; परन्तु प्र० धा० की ओर 30° का प्रावस्था हटाव हो जाता है। इसलिये छः फ़ेज़ी ऋजुकारी ही अध्ययन का आधार माना जायगा। आज कल अधिकांश अधिष्ठापनों में एकी उद्वोद इग्निट्रॉन नाल का उपयोग किया जाता है, क्योंकि उसकी दक्षता अधिक होती है। अतएव ऐसे ही ऋजुकारी का पर्यालोचन किया जायगा। तथापि अधिकांश सिद्धान्त, बहुत से उद्वोद वाले पारद चाप के ऋजुकारी के लिये भी प्रयुक्त हो सकते हैं। दोनों प्ररूपों की समानता, चित्र 16-9 के रेखाचित्रों से स्पष्ट है। *a* में छः उद्वोद पारद चाप ऋजुकारी दिखाया गया है और *b* में छः एकी उद्वोद एकक उसी कार्य को करने के लिये युजित दिखाये गये हैं।

चूँकि पारद चाप ऋजुकारी में चाप-पात केवल 20 से 30 वोल्ट तक होता है ; इसलिये पारद ताल अधिकतम धनात्मक उद्वोद के शक्म से 20 से 30 वोल्ट के भीतर ही शक्म पर रहेगा। जैसा चित्र 16–10 में दिखाया गया है। एकी उद्वोद प्ररूप के पारद चाप ऋजुकारी में भी, सभी पारद ताल एक ही शक्म पर होते हैं ; और चाप पात साधारणतया 20 वोल्ट तक सीमित रक्खा जाता है। इसलिये इनमें भी वोल्टता सम्बन्ध पहले जैसे ही होते हैं। पारद चाप ऋजुकारी में, इलेक्ट्रॉनों का निरंतर प्रभव रहता है, और चाप, क्रम से अधिकतम धनात्मक होने वाले उद्वोद की ओर होता है। तथापि इग्निट्रॉन प्ररूप में, एक सहायक परिपथ द्वारा, चाप का उचित क्षण पर उज्ज्वालन करना आवश्यक होता है।

चित्र 16-10 : छः फ़ेज़ी ऋजुकारी में धारा तथा वोल्टता। (एकसम धारा तथा उद्वोदों के बीच धारा का तात्क्षणिक विवर्तन मान लिया है।

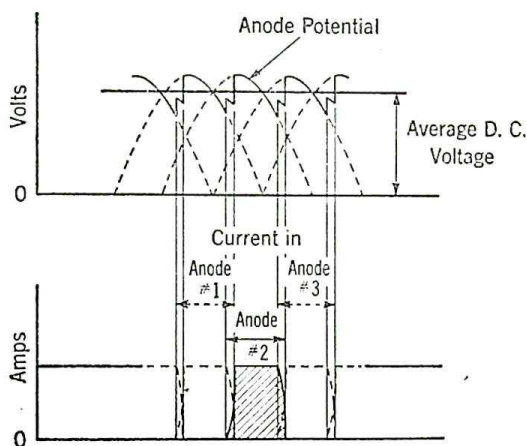
चित्र 16-10 में दिखाई गई वोल्टता दशा में यह मान लिया गया है, कि चाप एक उद्वोद से दूसरे उद्वोद को सहसा ही पूर्णतः हट जाता है ; यह चित्र के निचले भाग से स्पष्ट है। वास्तव में यह संभव नहीं है, क्योंकि उद्वोद परिपथ की प्ररोचिता ऐसा नहीं होने देगी। यह उस उद्वोद में, जिसमें कि धारा बह रही है, धारा को प्रवाहित रखने का प्रयास करेगी ; और दूसरे

उद्वोद में जो धारा का उन्नयन कर रहा है, इसका (धारा की वृद्धि का) विरोध करेगी।

चित्र 16-11 : फ़ेज़ी ऋजुकारी में धारा तथा वोल्टता

इस प्रभाव के परिणाम स्वरूप, चित्र 16-11 की तरह दिखाये गये धारा तथा वोल्टता वक्र प्राप्त होते हैं। इनमें प्रत्येक उद्वोद लगभग $\frac{1}{6}$ चक्र के समय तक (कुछ अधिक), धारा वहन करता है। उस अल्प अवधि को, जिसमें अव्यवहित धारा दो उद्वोदों के बीच विभाजित होती है, **अतिछादन** (Overlap) **का कोण अथवा व्यत्ययन काल** (Time of Commutation) कहा जाता है। इस अवधि में निद्वोद वोल्टता, धारा वहन करनेवाले दोनों उद्वोदों की वोल्टताओं के औसत (चाप पात को नगण्य मान कर) के बराबर होती है।

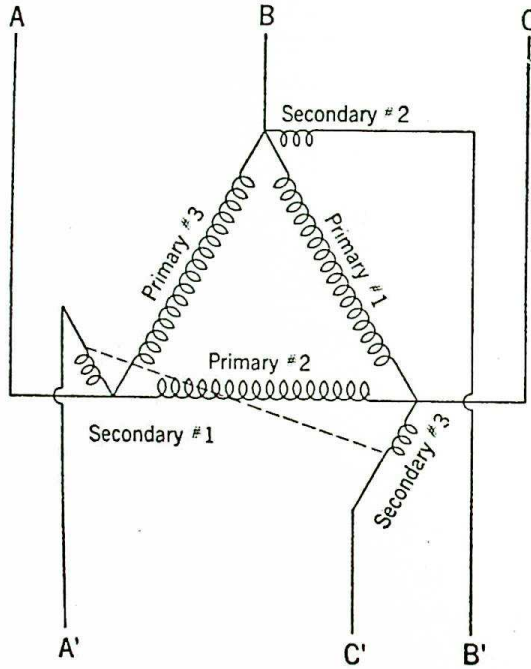
यदि इग्निट्रॉन नालों में, उज्ज्वालन के क्षण को विलंबित कर दिया जाय, अथवा पारद चाप ऋजुकारी में ग्रिड पर एक निश्चित काल के लिये उच्च ऋणात्मक वोल्टता आरोपित कर दी जाय, तो उस क्षण को, जब कि उद्वोद धारा का उन्नयन करता है, विलंबित किया जा सकता है। इस प्रकार चित्र 16-12 के अनुसार औसत अ० धा० का मान घट जायगा। चाप पात, कुल वोल्टता का इतना कम प्रतिशत होता है ; कि सामान्यतः, रेखाचित्रों में इसे नगण्य मान लिया जाता है, और यहाँ पर भी ऐसा ही किया गया है।

उद्वोदों में धारा के अज्यावक्री लक्षण के कारण, शक्ति प्रदाय तंत्र में सांध्वनिक धारायें (Harmonic Currents) उत्पन्न हो जाती हैं, जो टेलीफ़ोन संचारण

में व्यतिकरण उत्पन्न करती हैं। 5000 से 10000 ग्रम्प० तक की ग्रव्यवहित धारा प्रदाय करनेवाले छोटे ऋजुकारियों में, यह व्यतिकरण अधिक ग्रापत्तिजनक

चित्र 16-12 : **छः फ़ेज़ी ऋजुकारी में धारा तथा वोल्टता-विलंबित**

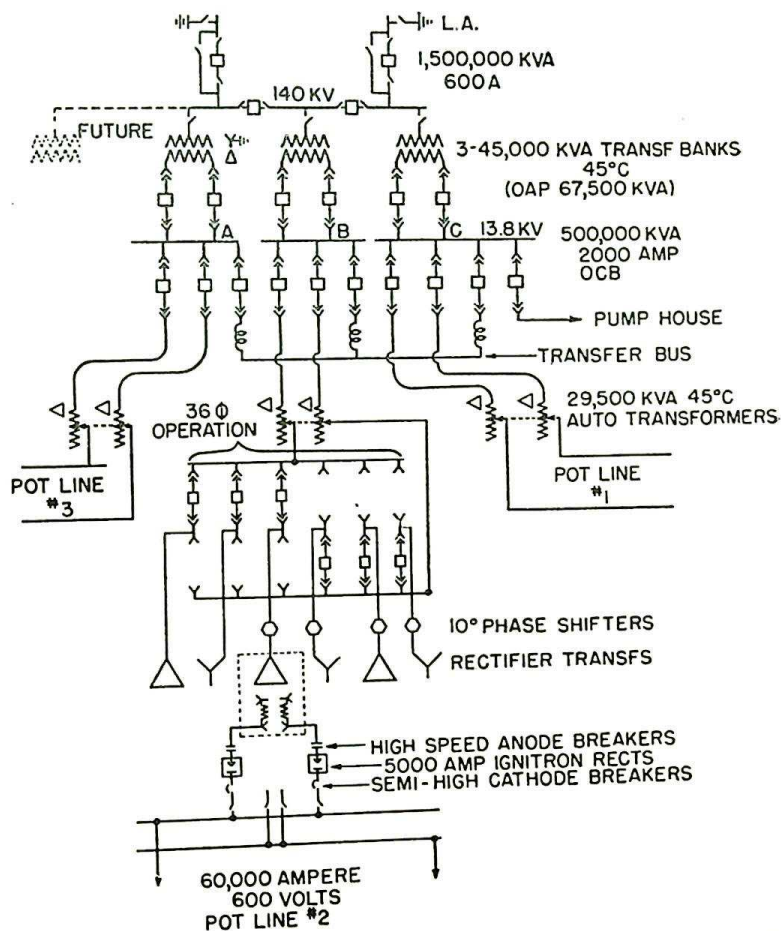
सिद्ध नहीं हुग्रा है। चूँकि प्रत्येक नाल की धारा, लगभग 5000 ग्रम्प० तक ही सीमित होती है; इसलिये, 50000 से 80000 ग्रम्प० धारा प्रदाय करने-वाले बड़े ऋजुकारियों में, कई ऋजुकारी एककों को समानान्तर में प्रवर्तन कराना ग्रावश्यक होता है। ऐसी ग्रवस्था में विभिन्न एककों के फ़ेज़ों को इस प्रकार विवर्तित करना संभव होता है, कि वे सब काल में समानता से स्थित हों। इस प्रकार यदि 5 एकक समानान्तर में प्रवर्तन कर रहे हों, तो उन्हें 12° के ग्रन्तर पर रक्खा जाता है; ग्रौर यदि छः एकक हों तो उन्हें 10° के ग्रन्तर पर रक्खा जायगा।

सम स्थापन की इस ग्रावश्यकता को पूर्ण करने के लिये, प्रावस्था विवर्तक परिर्वातित्रों (Phase Shifting Transformers) की ग्रावश्यकता होती है; जिनका प्ररूप चित्र 16-13 में दिखाया गया है। इसमें तीन एकी-फ़ेज़ परिर्वातित्र के प्राथमिक $\triangle$ में युजित किये गये हैं, तथा परिर्वातित्र (1) के द्वितीयक को, ऋजुकारी परिर्वातित्र के प्राथमिक को जानेवाले वाहक A' से माला में युजित किया गया है। इसी प्रकार नम्बर (2) के द्वितीयक को वाहक B' से ग्रौर (3) के द्वितीयक को C' से माला में युजित किया गया है। इन द्वितीयकों में लाइन वोल्टता की केवल 10 प्रतिशत वोल्टता ही, प्रावस्था कोण को 10° घुमा देनें के लिये पर्याप्त होगी। द्वितीयक युजनों को उल्टा कर, इस कोण को मूल वोल्टता प्रदाय से, ग्रनुगामी ग्रथवा ग्रग्रित किया जा सकता है। इस प्रकार यदि छः एकक समानान्तर में हों, तो इनमें से तीन के प्राथमिक $\triangle$ में युजित किये जा सकते हैं। इन तीन में से एक को सीधा ही युजित किया जायगा, ग्रौर दूसरे दो को, दोनों ग्रोर 10° प्रावस्था-विवर्तक परिर्वातित्रों के बीच से। शेष तीनों एककों को Y युजित किया जायगा, जिससे ये सहज ही 30° का प्रावस्था विवर्तन

उत्पन्न कर देंगे। इन तीन में से भी एक के प्राथमिक को सीधा ही युजित किया जायगा और शेष दो के लिये ±10° का विवर्तन उत्पन्न करने के लिये प्रावस्था विवर्तक परिवर्तित्रों का उपयोग किया जायगा। इस प्रकार यह, काल प्रावस्था में 10° विलगित, 6 एककों का प्रावधान करेगा; और अधिकांश धारा सांध्वनिकों का निष्फलन कर देगा।

चित्र 16-13 : फ़ेज़-विवर्तक परिवर्तित्र युजन

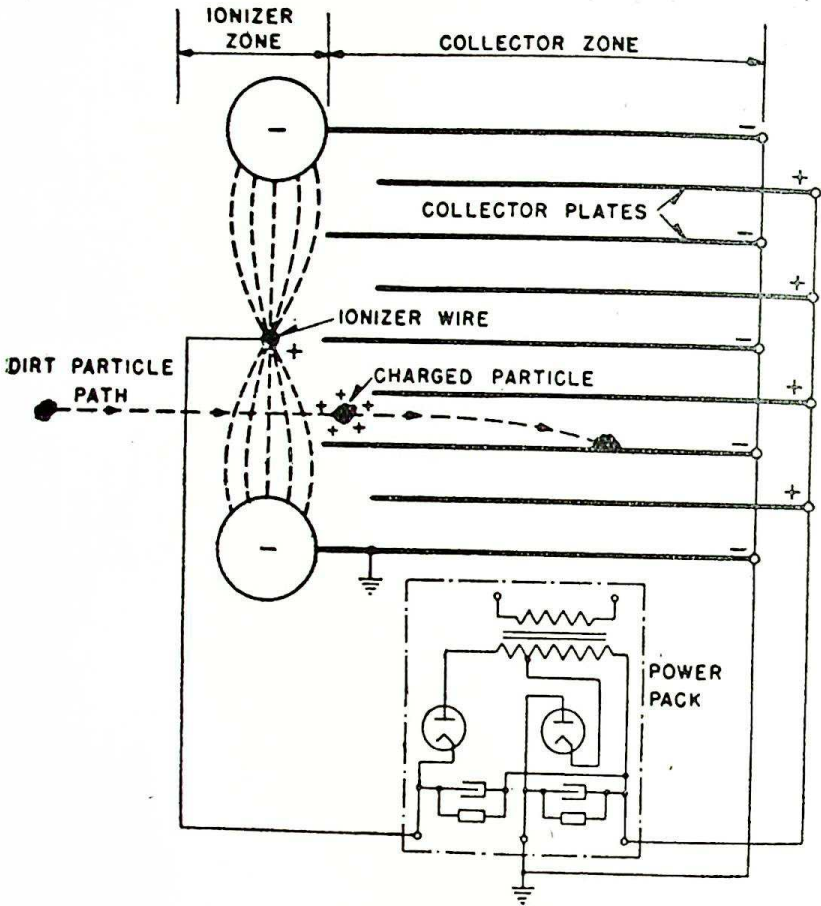
उपर्युक्त प्रावस्था विवर्तन की विधि, वोल्टता परिमाण तथा प्रावस्था में विवर्तन प्राप्त करने की बहुत सी संभव विधियों में से दृष्टान्त के रूप में दी गई है। यहाँ पर जो परिवर्तित्र युजन दिखाये गये हैं, वे ऋजुकारी परिवर्तित्र युजन में सबसे सरल हैं। वाणिज्यिक अधिष्ठापनों में, निस्संदेह, अन्य प्रकार के विन्यास भी पाये जाएँगे।

विद्युत् स्थैतिक निस्सादन सज्जा (Electrostatic Precipitation Equipment) : कुछ रासायनिक विधायनों में सूक्ष्म कणों के निस्सादन की आवश्यकता होती है; [या तो स्वयं रासायनिक विधायन में ही अथवा विधायन के उपासंग (Adjunct) के रूप में]। इसकी विधि साधारणतया यह है:—पहले पदार्थ को एक अयनित परिधि (Ionized Zone) में से फूंका जाता है जिसमें ये कण धनात्मक आवेश एकत्रित कर लेते हैं। तब इन्हें आवेशित पट्टिकाओं के बीच से भेजा जाता है और ये ऋणात्मक पट्टिका की

ओर आकर्षित हो जाते हैं ; जैसा चित्र 16-15 में निर्दशित किया गया है। उसके बाद निस्सादित पदार्थ को एकत्रित कर लिया जाता है।

चित्र 16-14 : 600 **वोल्ट पर** 60000 **अम्प० प्रदाय करने के लिये ऋजुकारी अधिष्ठापन का रेखाचित्र**

अयनन, एक पतले तार पर आरोपित उच्च अ० धा० वोल्टता द्वारा उत्पन्न किया जाता है। इस तार को, एक उच्च वोल्टता ऋजुकारी के द्वारा, अयनन शक्म पर रक्खा जाता है। अयनन उत्पन्न करनेवाला यह ऋजुकारी, कभी-कभी यांत्रिक प्ररूप का भी होता है ; परन्तु अधिकतर यह, 10000 अथवा इससे भी अधिक वोल्टता प्रदाय करनेवाला एक शून्यक नाल ऋजुकारी होता है।

सारांश : इस अध्याय में दिये गये विद्युत् तापन, संधान तथा विद्युत् रासायनिक उपयोगों के दृष्टान्त, औद्योगिक प्रवर्तनों में उनके महत्व तथा मूलभूत सिद्धान्तों की प्रयुक्तियों को प्रदर्शित करने के दृष्टिकोण से चुने गये हैं। रासा-

चित्र 16-15 : निस्सादन के सिद्धान्त को निर्दशित करने वाला सरल रेखाचित्र

यनिक इंजीनियर को अपने क्षेत्र के आधुनिक साहित्य में अन्य बहुत से दृष्टान्त मिलेंगे और इसी प्रकार यांत्रिक (Mechanical) तथा धातुविक (Metallurgical) इंजीनियरों को भी अपने-अपने क्षेत्र के साहित्य में बहुत से उपयोगी दृष्टान्त मिलेंगे।

पूरक अध्ययन के लिये सुझाव

Chute, G. M., *Electronic Control of Resistance Welding*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1943.

Curtis, F., *High Frequency Induction Heating*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1944.

Stansel, N. R., *Industrial Electric Heating*. NewYork : John Wiley & Sons, Inc., 1933.

Wilcox, E. A., *Electric Heating*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1928.

सत्रहवाँ अध्याय

विद्युत प्रभासन

(ELECTRICAL ILLUMINATION)

प्रकाश तथा प्रभासन की प्रकृति

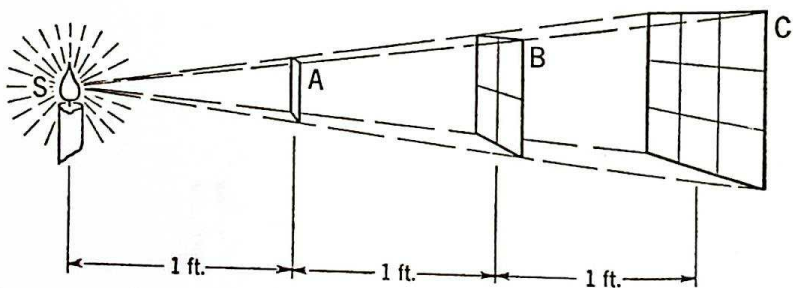
भौतिक विज्ञान, प्रकाश की परिभाषा एक प्रकार की विकीर्ण ऊर्जा (Radiant Energy) के रूप में करता है। यह, रेडियो तथा रेडार (Radar) की विद्युत्-चुम्बकीय तरंगों (Electromagnetic Waves) के समान ही होती है; केवल वारंवारता बहुत अधिक होती है। सामांग माध्यम (Homogencus Medium) में, प्रकाश तरंगें, सरल रेखाओं में प्रसारित (Propagated) होती हैं। इसलिये, एक बिन्दु प्रकाश प्रभव से उत्पन्न प्रकाश की चण्डता, प्रभव से दूरी के वर्ग की प्रतीपानुपाती होती है; (जब तक बीच में अन्य पदार्थ इसे परिवर्तित न कर दें)। प्रकाश को तलों से परावर्तित (Reflected), तथा लेंस और प्रिज्म के द्वारा वर्तित (Refracted) किया जा सकता है। किसी क्षेत्र के प्रभासन की योजना में, प्रकाश के इन तथा अन्य गुणों का ज्ञान महत्वपूर्ण होता है।

केवल प्रकाश चण्डता (Intensity of Light) के परिमाण का विचार करना ही पर्याप्त नहीं होता। प्रकाश का उपयोग, देखने के लिये होता है, और शरीर के देखने वाले यंत्र की प्रकृति का विचार करना भी आवश्यक है। नेत्रों तथा मनुष्य के देखने के विधायन द्वारा निश्चित, दक्ष और सुखपूर्वक देखने के मूलभूत सिद्धान्तों का निवेशन एक सफल प्रभासन अभिकल्प में होना आवश्यक है। देखने में चार मुख्य बाते ये हैं:—(1) वस्तु का आकार, (2) उसकी दीप्ति (Brightness) (3) आस-पास के पदार्थों के सापेक्ष उसका दीप्ति-अन्तर (Contrast of Brightness) (4) देखने के लिये उपलब्ध समय। प्रकाश का विन्यास इस प्रकार होना चाहिये, कि वह वस्तुओं के दीप्ति-अन्तर को बढ़ाये और आँखों में थकान न उत्पन्न करे। इसलिये प्रभासन की चण्डता इतनी होनी चाहिये, कि बिना आँखों पर जोर दिये ही, अंकित करने योग्य दीप्ति प्राप्त हो सके।

उच्च चण्डता वाले प्रकाश प्रभाव के सीधे परावर्तन के कारण उत्पन्न हुआ, असामान्य दीप्ति का एक बिन्दु, आँखों में बहुत अधिक थकान उत्पन्न करेगा। अतः, आवश्यकता से अधिक दीप्ति का अन्तर चौंध (Glare) कहलाता है; और संतोषप्रद प्रभासन के लिये, इसे दूर करना आवश्यक है। प्रकाश के क्षेत्र में, भौतिक विज्ञान तथा व्यक्ति की प्रकाशके प्रति दैहिक (Physiological) और मनोवैज्ञानिक (Psychological) प्रतिक्रिया, प्रभासन अभिकल्प के मूल आधार हैं।

प्रकाश की इकाइयों की परिभाषा

प्रकाश के सभी संख्यात्मक मापनों का आधार एक **कैन्डिल** (Candle) है। कई अग्रगण्य देशों की मानक प्रयोगशालाओं (Standardizing Laboratories) ने सहमत होकर इसके विशिष्ट विवरण को निर्धारित किया था*। एक प्रमाणिक बत्ती के द्वारा दिये गये प्रकाश की मात्रा को एक कैन्डिल कहते हैं। किसी वस्तु के प्रभासन की चण्डता को फुट-कैन्डिल द्वारा मापा जाता है। इस इकाई की परिभाषा, **एक प्रमाणिक कैन्डिल से एक फुट की दूरी पर रक्खे पदार्थ द्वारा प्राप्त होनेवाली प्रभासन की मात्रा** द्वारा की जाती है। यदि कैन्डिल दो फ़ीट की दूरी पर स्थित हो, तो प्रभासन चण्डता केवल $\frac{1}{4}$ फुट कैन्डिल होगी। (प्रभासन चण्डता, बिन्दु प्रभव से दूरी के वर्ग के प्रतीपानुपाती (Inversely Proportional) होती है)।

किसी वस्तु को प्रभासित करने के लिये, अपेक्षित प्रकाश की मात्रा, वस्तु के आकार पर निर्भर करेगी। प्रकाश की सर्वसामान्य इकाई **ल्यूमेन** (Lumen) है, जिसकी परिभाषा, **एक वर्ग फुट क्षेत्रफल को एक फुट कैन्डिल के प्रभासन का प्रदाय करने के लिये, अपेक्षित प्रकाश की मात्रा** द्वारा की गई है। यदि बत्ती एक ऐसा प्रभव हो, जो सभी दिशाओं में समान रूप से दीप्त हो और इसे एक फुट व्यास के एक गोले के मध्य में रख दिया जाय, तो गोले के भीतर, प्रत्येक बिन्दु पर

चित्र 17-1 : **किसी तल पर प्रभासन, तल की प्रभव से दूरी के वर्ग के प्रतीपानुपात में विचरण करता है**

प्रभासन 1 फुट कैन्डिल होगा। चूँकि, इस प्रकार, तल का प्रत्येक वर्गफुट 1 ल्यूमेन प्रकाश प्राप्त करेगा ; इसलिये गोले का कुल तल 4π ल्यूमेन प्रकाश प्राप्त करेगा। इस प्रकार एक प्रमाणिक कैन्डिल के कुल प्रकाश प्रदा को 4π ल्यूमेन कहा जा सकता है।

एक क्षेत्र को प्रभासित करने के लिये आवश्यक ल्यूमेन संख्या, फुट कैन्डिल में दीप्ति तथा वर्गफ़ीट में क्षेत्रफल के गुणन के बराबर होगी। यदि 200

---

* इस इकाई को, अब, उत्ताप दीप (Incandescent Lamp) द्वारा प्रमाणिक बनाकर रक्खा गया है।

वर्गफ़ीट के एक क्षेत्र को, 10 फुट कैन्डिल चण्डता से प्रभासित करना हो, तो इसके लिये, 2000 ल्यूमेन की आवश्यकता होगी जो कुल क्षेत्र पर समान रूप से विभाजित होंगे।

प्रकाश का नियंत्रण

सुखदायी दृष्टि अवस्था उत्पन्न करने के लिये, तथा दक्षता बढ़ाने के लिये प्रकाश का नियंत्रण करना आवश्यक है। दृष्टान्त के रूप में, कुछ कारखानों में, प्रकाश का इस प्रकार उपयोग करना, कि उससे, देखने में भद्दी तथा गन्दी शहतीरें ही दिखाई दें, ठीक नहीं होगा। इसलिये प्रकाश को परावर्तकों द्वारा, नीचे को परावर्तित कर, कार्य के तल को प्रभासित करने के काम में लाना ही सबसे उपयुक्त होगा। परावर्तन, प्रकाश नियंत्रण की एक अति महत्वपूर्ण विधि है।

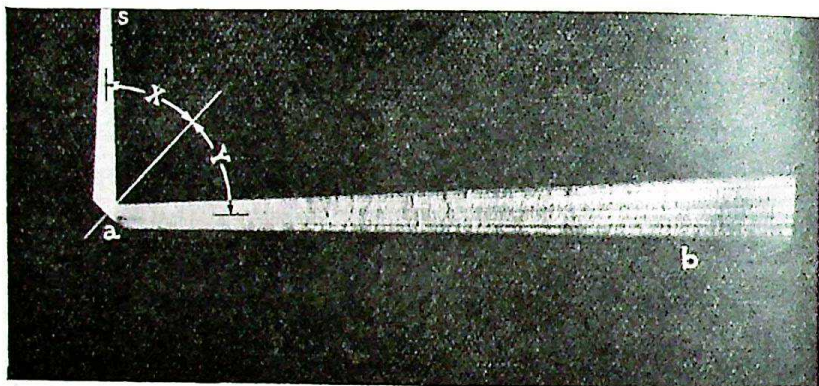
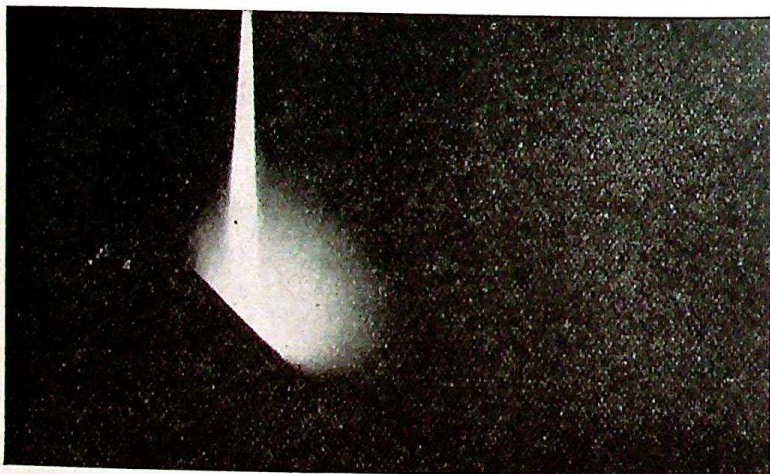
जहाँ संभव हो सकता है वहाँ छत को साफ़ करके सफ़ेद रंग देना अच्छा होगा। इससे एक अधिक सुखदायी, प्रसन्न करनेवाली और प्रभावी प्रभासन परिस्थिति प्राप्त होगी। छत पर गिरनेवाला प्रकाश, छत तथा प्रभासन एककों के बीच दीप्ति अन्तर कम कर देता है। यहाँ छत एक सुन्दर पृष्ठभूमि का काम करती है।

चौंध कम करने के लिये भी, प्रकाश प्रभव की दीप्ति अन्तर को कम करना आवश्यक है। इसे, एक या दो दीपों को ऐसे एकक में रख कर किया जाता है, जो दीप्ति को सुखदायी परास के भीतर रक्खे; अथवा प्रकाश को हल्के रंग से रंगी छत की ओर परावर्तित करके किया जाता है, जहाँ से यह पुनः परावर्तित होकर कार्यकारी तल पर गिरता है।

जब कार्यकारी तल को प्रभासित करने के लिये प्रकाश की प्रत्यक्ष किरणों अथवा प्रकाश युक्तियों (Lighting Fixtures) द्वारा परावर्तित किरणों का उपयोग होता है, तब प्रभासन को 'प्रत्यक्ष' (Direct) कहा जाता है। जहाँ पर पहले सब का सब प्रकाश छत की ओर परावर्तित कर दिया जाता है, वहाँ प्रभासन को अप्रत्यक्ष (Indirect) कहा जाता है। इन दो चरम सीमाओं के बीच, अर्ध-प्रत्यक्ष से ले कर अर्ध-अप्रत्यक्ष तक विभिन्न प्रकार के एककों का विस्तृत परास उपलब्ध है। 'अर्ध-प्रत्यक्ष' में, अधिकतर प्रकाश नीचे की ओर को होता है; और छत की ओर केवल एक अल्प भाग ही (सामान्य प्रसरण के कारण) जाता है। 'अर्ध-अप्रत्यक्ष' में अधिकांश प्रकाश छत की ओर जाता है, और केवल थोड़ा-सा भाग ही, एकक के पारभासी (Translucent) कटोरे में से हो कर नीचे की ओर जाता है।

परावर्तक तलों के लक्षण (Charcacteristics of Reflecting Surfaces)

जब एक प्रकाश रश्मि चिकने धातु तल से टकराती है, तो वह चित्र 17-2 में दिखाये गये के अनुसार परावर्तित हो जाती है। परावर्तित

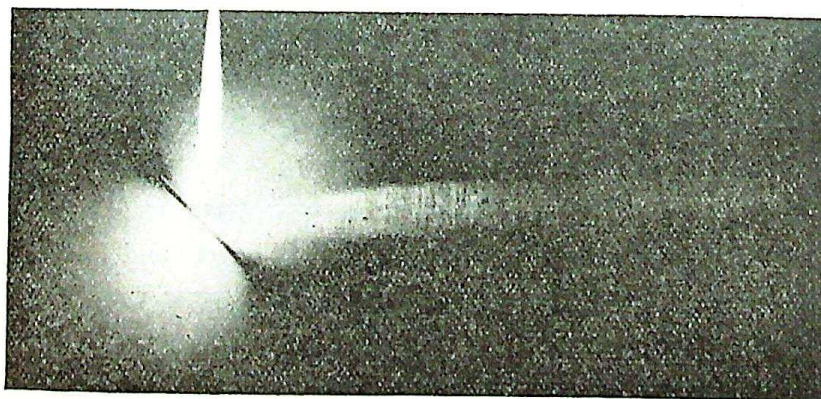
रश्मि सकेन्द्रित रहती है और आपात कोण (Angle of Incidence) परावर्तक कोण (Angle of Reflection) के बराबर होता है। मुख्य परावर्तित रश्मि की दिशा के अतिरिक्त दूसरी दिशाओं में बहुत कम प्रकाश परावर्तित होता है। इसलिये प्रकाश को फ़ोकस करने के लिये [जैसे मोटर के अग्रदीप (Headlight) में अथवा प्लावनदीप (Floodlight) में], चिकनी धातु अथवा शीशे के बने हुए परावर्तक आवश्यक होते हैं। ये परावर्तक बहुधा, समावृत्त होते हैं; और धूल तथा गन्दगी से बचाये जाते हैं; विशेषकर अग्रदीप तथा प्लावन दीपों में।

चित्र 17-2 : **प्रकाश का परावर्तन**

चित्र 17-3 : **प्रकाश का प्रसृत परावर्तन**

जब एक प्रकाश रश्मि खुरदरे तल से टकराती है, [जैसा एक सफ़ेद अवशोषण काग़ज़ (Blotting Paper)] तो परावर्तित प्रकाश, सभी दिशाओं में एकसम परावर्तित होता है; जैसा चित्र 17-3 में दिखाया गया है। इसे प्रसृत परावर्तन

(Diffused Reflection) कहते हैं। आकाचित (Enamelled) परावर्तक, तथा दीवारों और छतों के पेन्ट से, सामान्यतः, इसी प्रकार का परावर्तन होता है। छत, सफ़ेद अथवा सफ़ेद से तनिक ही भिन्न रंग की होनी चाहिये, जिसका परावर्तन खण्ड 80 प्रतिशत अथवा उससे भी अधिक हो। दीवारों का परावर्तन खण्ड 50-60% तक भी हो सकता है। दीवारों के लिये सबसे अधिक प्रयुक्त रंग, हरा, नीला, बादामी, मूँगिया अथवा भूरा होते हैं। पहले दो रंग, मनोवैज्ञानिक रूप से ठंडे होते हैं, तीसरे और चौथे गर्म, तथा पाँचवाँ उदासीन होता है।

निरेखित (Etched) अल्यूमीनियम, अपनी अनवरत उच्च दक्षता के कारण परावर्तकों में विस्तृत रूप से प्रयोग किया जाता है। यह, अर्ध-दार्पण परावर्तन (Semispecular Reflection) उत्पन्न करता है, जिसे विस्तारित परावर्तन (Spread Reflection) भी कहते हैं। यह परावर्तन, दार्पण तथा प्रसृत परावर्तनों के बीच की स्थिति है।

पारभासी पदार्थ (Translucent Materials)

यदि एक प्रकाश रश्मि, सफ़ेद अथवा दूधिये काँच (Milk Glass) के एक स्तार से टकराये, तो उसका एक अल्प भाग तल से रश्मि के रूप में परावर्तित हो जायगा। तथापि उसका अधिकांश भाग काँच में प्रवेश कर जायगा, और जब यह काँच के सफ़ेद कणों से टकरायेगा, तो यह सभी दिशाओं में परावर्तित

चित्र 17-4 : **पारभासी पदार्थ द्वारा प्रकाश का परावर्तन एवं प्रसृत पारेषण--दोनों ही एक साथ**

हो जायगा ; जैसा चित्र 17-4 में दिखाया गया है। लगभग आधा प्रकाश काँचमें से हो कर निकल जायगा और शेष अवशोषित हो जायगा, अथवा परावर्तित हो जायगा। जिस पदार्थ का प्रकाश पारेषण (Light Transmission)

सफ़ेद काँच के समान होता है, उसे पारभासी (Translucent) कहते हैं। बहुत से प्लास्टिकों में भी यह लक्षण पाया जाता है ; और उन्हें प्रकाश नियंत्रण के लिये उपयोग किया जाने लगा है।

दीप्ति और चौंध (Brightness and Glare)

आँख, प्रभासन की चण्डता में विचरण के लिये लॉग रूप से (Logarithmically) प्रतिचारण करती है। यह प्रतिचारण, चण्डता विचरण के काफ़ी विस्तृत परास में होता है। यदि प्रभासन का सामान्य स्तर ऊँचा हो जैसा तीव्र धूप के दिन होता है, तब आँख का तारा (Pupil) सिकुड़ जाता है और केवल थोड़ा-सा प्रकाश ही नेत्र हृष भाग तक जा पाता है। परन्तु यदि प्रभासन का स्तर कम हो, तो तारा बड़ा हो जाता है, जिससे प्रकाश का अधिक भाग प्रवेश पा सके। तारा केवल औसत प्रभासन के लिये ही प्रतिचारण करता है, और यदि एक सीमित क्षेत्र की प्रभासन चण्डता अत्याधिक हो, तो यह आँख के हृष भागों का अति उद्दीपन कर देगा और परिणामतः, देखने में कष्ट होगा। प्रभासन शब्दावलि में ऐसे कष्ट को चौंध कहा गया है। चौंध को दार्ष्टिक क्षेत्र में, ऐसे लक्षणों वाली दीप्ति के रूप में समझा जा सकता है जो कष्ट, उद्विग्नता, दृष्टि में बाधा, अथवा आँखों में थकान उत्पन्न करे। प्रयोगों से यह निश्चित किया गया है, कि दृष्टि के केन्द्रीय प्रभाग में, 2 या 3 कैन्डिल प्रति वर्ग इंच से अधिक प्रकाश चण्डता अथवा दीप्ति, तुरंत कष्ट उत्पन्न करती है। 0·5 कैन्डिल प्रति वर्ग इंच से अधिक दीप्ति भी बार बार विगोपन करने पर कष्ट उत्पन्न करती है, विशेषकर यदि प्रकाश प्रभव बड़ा हो।

सभी आधुनिक विद्युत् प्रकाश प्रभव [भ्राशमान दीप (Fluorescent Lamp) भी], दीप्ति में इस स्तर से ऊँचे होते हैं। इसलिये उत्तम प्रभासन के लिये निम्नलिखित बातें ध्यान में रखना आवश्यक है। (1) दीपों को सामान्य दृष्टि क्षेत्र से ऊँचा रखना, (2) दीप को पारभासी अन्वायुक्ति (Fixture) में समावृत्त कर अथवा तिर्यक्काच और व्यारोधों (Louvres and Baffles) द्वारा बचा कर, एकक दीप्ति को कम करना। (3) प्रकाश के सब अथवा अधिकांश भाग को छत की ओर परावर्तित कर एकक दीप्ति को कम करना ; (छत से यह प्रकाश, अल्प-तल-दीप्ति (Low Surface Brightness) पर परावर्तित हो जाता है)।

कार्यकारी तल से परावर्तन के कारण, उत्पन्न हुई चौंध विशेष रूप से उद्विग्नकारी होती है, और इसे दूर करना भी कठिन होता है। इसे **परावर्तित चौंध** कहते हैं। यह, डेस्क अथवा कार्यतट पर रक्खे हुए सफ़ेद काग़ज़ या अन्य किसी उच्च परावर्तन वाले तल की चिकनाहट से, किसी प्रकाश प्रभव के परावर्तन के कारण, उत्पन्न हो सकती है। इसलिये प्रकाश प्रभव को ऐसी स्थिति में नहीं

रखना चाहिये कि यह सीधे ही आँखों में परावर्तित हो। इस दशा में, स्थानीय प्रभासन के लिये प्रयोग किये जानेवाले डेस्क अथवा बेन्च दीप, विशेषकर आपत्ति-जनक हो सकते हैं।

प्रकाश प्रभव (Light Sources)

औद्योगिक और कार्यालयों के प्रभासन के लिये, तीन प्रकार के प्रकाश प्रभव उपलब्ध हैं। इनमें सबसे पुराना उत्ताप दीप (Incandescent Lamp) है, और बहुत-सी परिस्थितियों में अब भी उचित समझा जाता है। पारद वाष्प दीप (Mercury Vapour Lamps) बहुत दक्ष होते हैं, परन्तु उनके प्रकाश का रंग अच्छा नहीं लगता। लोकप्रिय आशमान दीप (Fluorescent Lamps) लगभग इतने ही दक्ष होते हैं, और उनके रंग लक्षण भी कहीं अधिक अच्छे लगते हैं। प्रत्येक प्रकार के दीपों के मुख्य लक्षण नीचे दिये गये हैं।

उत्ताप दीप : उत्ताप दीपों को, सामान्यतः, बिन्दु प्रभव समझा जा सकता है। ये 10 वाट से ले कर 1500 वाट तक के विभिन्न आकारों में मिलते हैं। इनकी दक्षता, 10 से लेकर 22 ल्यूमेन प्रति वाट विद्युत् शक्ति तक होती है। यद्यपि कम वाट वाले उत्ताप दीपों का प्रकाश कुछ पीलापन लिये होता है, परन्तु पारद वाष्प दीपों और आशमान दीपों के सापेक्ष इनका मुख्य लाभ यह है, कि उत्ताप दीपों से विकिरण (Radiation), दृश्य वर्णक्रम (Visible Spectrum) में सतत होता है, जब कि दूसरे दोनों प्रकार के दीपों में यह केवल कुछ रेखाओं में सकेन्द्रित होता है। साधारण चर्या के लिये, उत्ताप दीपों का जीवन काल प्ररचना के अनुसार 750 से 1500 घंटे तक का होता है।

पारद वाष्प दीप : मध्यम तथा उच्च दबाव के पारद वाष्प दीप, (3 कि० वा० के दीप के अतिरिक्त) वस्तुतः, प्रकाश के बिन्दु प्रभव होते हैं। वाणिज्यिक आकार में, ये दीप, 100 से 3000 वाट तक के होते हैं। तथापि इनमें से अधिकांश, 400 से 1000 वाट तक के ही होते हैं ; जिनकी दक्षता लगभग 40 ल्यूमेन प्रति वाट होती है। इनके प्रकाश का रंग नीला हरा होता है, और साधारणतया इन्हें, वर्ण समकरण के लिये, उत्ताप दीपों के साथ प्रयोग करना चाहिये। इनकी आयु, सामान्यतः, 2000 से ले कर 3000 घंटों तक की होती है। इनका प्रतिस्थापन मूल्य (Replacement Cost) अधिक होता है, परन्तु प्रति ल्यूमेन घंटा के हिसाब से इनका मूल्य, लगभग, उत्ताप दीपों के बराबर ही होता है।

आशमान दीप (Flourescent Lamps) : आशमान दीप, सामान्यतः, प्रसृण रेखा प्रभव (Diffuse Line Source) होते हैं। प्रकाश का रंग, आशमान लेप पर निर्भर करता है। इसलिये ऐसे दीपों को सजावट के लिये, विभिन्न रंगों में प्रयोग किया जा सकता है। सफ़ेद और दिवस प्रकाश (Day

Light) वर्ण, सबसे अधिक लोकप्रिय होते हैं। सफ़ेद वर्ण, दिवस प्रकाश वर्ण की अपेक्षा अधिक दक्ष होता है। दीपों की आयु, 2500 से लेकर 6000 घंटों तक की होती है। यद्यपि इस दीप का मूल्य, बराबर प्रदा के उत्ताप दीप से कहीं अधिक होता है, परन्तु प्रति ल्यूमेन घंटा के हिसाब से, प्रतिस्थापन मूल्य लगभग उतना ही होता है, जितना कि उत्ताप दीप अथवा पारद वाष्प दीप का। दक्षता 30 से 60 ल्यूमेन प्रति वाट तक होती है, जो उत्ताप दीपों की दक्षता से लगभग दुगनी होती है। जहाँ प्रति वर्ष कई घंटे प्रभासन का उपयोग करना हो, वहाँ आशमान दीप ही सबसे अधिक मितव्ययी सिद्ध होंगे।

प्रकाश योजना (Lighting Plan)

प्रकाश योजना बनाने से पहले देखने की समस्या को निश्चित कर लेना चाहिये। अर्थात्, पहले यह पता लगाना चाहिये कि किस वस्तु को देखना है, और उसे दीप्ति से अथवा वर्ण अन्तर से देखना है। उसे पृष्ठभूमि के विरुद्ध, अन्तर के कारण भी देखा जा सकता है, अथवा छाया चित्र (Silhouette) या परावर्तित छाया के कारण भी देखा जा सकता है। देखने की समस्या का सावधानी से विश्लेषण कर तथा उसके प्रभावों का अध्ययन कर, इसके लिये प्रकाश परिणाम निर्धारित किये जाते हैं। कारखानों और कार्यालयों के लिये, अपेक्षित

चित्र 17-5 : **एक मशीन टूल संयन्त्र का प्रभासन। प्रिज्मी (Prismatic) परावर्तकों में 750 वाट के उत्ताप दीप प्रयोग किये गये हैं, जो बेन्च की ऊँचाई पर 30 फुट कैन्डिल प्रतिवर्ग इंच का प्रभासन देते हैं।**

प्रकाश तल, सामान्यतः, विशेषज्ञों की संसदों द्वारा निर्धारित किये गये हैं; और प्रकाशित अभिस्ताव इनसे मिल सकते हैं। इनके नाम, इस अध्याय के अन्त में पुस्तकावलि में दिये गये हैं।

प्रभासन के प्ररूप और स्तर निश्चित करने के बाद, प्रभासन अधिष्ठापनों के विभिन्न विन्यासों की योजना बनानी चाहिये। इनका अभिकल्प इस प्रकार होना चाहिये, कि यथासंभव सभी दीप समान प्रभासन प्रभाव उत्पन्न करें।

जब कई विकल्प अभिकल्प, प्रभासन के दृष्टिकोण से संतोषप्रद हों, तो उनकी तुलना, मूल्य के आधार पर की जा सकती है। इसमें, अधिष्ठापन मूल्य, शक्ति मूल्य, संधारण मूल्य, सभी का ध्यान रखना चाहिये; और इनकी संगणना, वार्षिक अथवा कैपिटल मूल्य (Capitalized Cost) के आधार पर की जा सकती है।

प्रारूपिक प्रभासन अभिकल्प (Typical Illumination Disigns)

प्रभासन अभिकल्प विधायनों का सामान्यकरण ठीक नहीं होता, तथापि विभिन्न प्ररूप की औद्योगिक परिस्थितियों के लिये, दो प्रारूपिक प्रभासन अभिकल्प विकसित किये गये हैं।

चित्र 17-6 : परिशुद्ध उपकरण कमरा। दस फ़ीट के अन्तर पर संतत प्रभासन अन्वायुक्तियाँ अधिष्ठापित हैं। प्रत्येक अन्वायुक्ति में 49″ के दो भ्राशमान दीप हैं। ऊँचाई 10 फ़ीट। प्रभासन 40 फुट कैन्डिल।

पहला 20 से 50 फ़ीट ऊँचाई के बड़े औद्योगिक भवन के लिये है, जिसमें क्रेनों के कारण यह आवश्यक है कि दीपों को फ़र्श से 20 फ़ीट या उससे अधिक ऊँचाई पर रक्खा जाय। यहाँ पर, सामान्यत:, उत्ताप दीपों को, अथवा उनके बीच बीच में उच्च चण्डतावाले पारद वाष्प दीपों का उपयोग किया जाता है। ये दीप, खुली अथवा आवृत्त अन्वायुक्तियों में आरोपित होते हैं, जो प्रकाश को, नीचे कार्य की ओर निर्देशित करती हैं। इस प्ररूप में कम देखभाल की आवश्यकता होती है, और इसका प्रकाश वर्ण भी संतोषप्रद होता है। साथ ही साथ इसकी दक्षता भी काफ़ी होती है। एक ऐसे अधिष्ठापन को चित्र 17-5 में दिखाया गया है।

जहाँ छत नीची होती है वहाँ, सामान्यत:, उपयुक्त अन्वायुक्तियों में रक्षित, उत्ताप अथवा भ्राशमान दीप प्रयोग किये जाते हैं, जैसा चित्र 17-6 में दिखाया गया है। यहाँ पर उपयुक्त बचाव के साथ प्रकाश प्रभव की अल्प तल दीप्ति के कारण, बिना चौंध का उच्च स्तर का प्रभासन प्राप्त होता है। दक्षता भी उच्च होती है, और पर्याप्त देखभाल से उत्तम प्रभासन के लाभ प्राप्त होते हैं।

कभी-कभी प्रभासन के गुणों को कम करके, मूल्य को घटाने का प्रलोभन होता है। औद्योगिक अधिष्ठापनों में, सामान्यत:, कुल उत्पादन मूल्य की तुलना में प्रभासन मूल्य इतना कम होता है, कि प्रभासन के गुणों को कम करना झूठी मितव्ययिता है।

पूरक अध्ययन के लिए सुझाव

Kraehenbuhl, J. O., *Electrical Illumination*. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1942.

Luckiesh, M., *Light, Vision, and Seeing*. New York : D. Van Nostrand Company, Inc., 1944.

Sharp, H., *An Introduction to Lighting*. New York : Prentice-Hall, Inc. 1951.

Bulletins of the Illuminating Engineering Society:

Recommended Practice of office Lighting.

Bulletins of the General Electric Company:

Mazda Lamps (LD-1).

Illumination Design Data (LD-6H).

Essential Data for General Lighting Design (Folder D).

अठारहवाँ अध्याय

औद्योगिक मापन की वैद्युतिक विधियाँ

(ELECTRICAL METHODS OF INDUSTRIAL MEASUREMENT)

उद्योग में उपकरणन (Instrumentation in Industry)

विद्युत का एक महत्वपूर्ण उपयोग, औद्योगिक राशियों एवं विधायनों के मापन तथा नियंत्रण में है। बहुत सी बड़ी-बड़ी निर्माण कम्पनियाँ, इंजीनियर स्नातकों को संयन्त्र में उपकरणों के प्रवर्तन तथा संधारण में प्रशिक्षा देती हैं। उपकरणों तथा नियंत्रकों की देखभाल करते हुए, विधायन समस्याओं से प्रगाढ़ संस्पर्श के कारण, वे शीघ्र ही विधायन नियंत्रण के उत्तरदायित्व को संभालने के योग्य हो जाते हैं।

इनमें से बहुत से उपकरण, विद्युत उपकरण नहीं होते। तथापि यह पाया गया है, कि मापन की विद्युत विधियाँ इतनी विश्वसनीय और उपयोगी होती हैं, कि उनका प्रयोग अधिकाधिक होता जा रहा है। जहाँ पर मापन की समस्यायें कठिन एवं जटिल होती हैं, अथवा जहाँ मापन तथा नियंत्रण एक ही उपकरण द्वारा किया जाता है, वहाँ विद्युत मापन विधि सबसे उपयोगी होती है। कुछ परिणामों को प्राप्त करने के लिये, बहुधा, जटिल विद्युत परिपथों का विन्यास करना सापेक्षतया सरल तथा सस्ता होता है, जब कि उन परिणामों को याँत्रिकी तथा आम्भसी विधियों से प्राप्त करना या तो असंभव होता है, अथवा बहुत कठिनाई या व्यय के बाद हो सकता है।

औद्योगिक से विद्युत राशि में परिवर्तन

औद्योगिक उपकरणन में पहली समस्या, औद्योगिक राशि के विचरण को विद्युत राशि के विचरण में बदलने की है। औद्योगिक उत्पादन में तापमान सबसे महत्वपूर्ण राशियों में है। तापमान विचरण को ऐसे विचरण में बदल देने को, जिसे विद्युत रूप से मापा जा सके, कई विधियाँ हैं। सापेक्षतया, अल्प तापमानों के लिये, सामान्यतः, रोध में विचरण की विधि ही सबसे सुगम होती है। मध्यम तापमानों के लिये तापीय युग्म प्रयोग किये जाते हैं; जबकि अति उच्च तापमानों के लिये, विकिरण को वोल्टता अथवा धारा में बदलने की किसी एक विधि का, अधिमनन किया जाता है।

परिभ्रमण के वेग को मापने के लिये, एक स्थायी चुम्बक वाला अ० धा० अथवा प्र० धा० जनित्र प्रयोग किया जाता है, जिसमें स्यंद स्थिर रहती है। इस दशा में जनित वोल्टता, वेग के समानुपात में होती है।

विकृति तथा तत्सम्बन्धी प्रतिबल, लम्बाई में होने वाले अल्प परिवर्तन को, रोध, प्ररोचिता अथवा धारिता के विचरण में बदलकर मापे जा सकते हैं। परिपथ राशियों के इस विचरण को माप कर, परिणामों को फिर से विकृति और प्रतिबलों में बदला जा सकता है। दबाव को साधारणतया विकृति के रूप में मापा जा सकता है। इसी प्रकार अनुपट (Diaphragm) के व्याकोचन को, कार्बन वटन द्वारा अथवा पीज़ो-विद्युत स्फटों (Piezo-electric Crystals) द्वारा वोल्टता विचरण में बदलकर मापा जा सकता है।

उपर्युक्त विधियाँ, विद्युत राशियों में परिवर्तन विधियों में से कुछ ही हैं; परन्तु ये परिवर्तन विधायन को निर्दशित करती हैं। इस अध्याय में दिये गये कुछ विशिष्ट दृष्टान्त औद्योगिक उपकरणन में प्रयोग होने वाली विधियों के कुछ सीमित उदाहरण ही हैं।

विद्युत राशि का मापन

औद्योगिक राशि को विद्युत विचरण में बदलने के बाद, विद्युत राशि का मापन आवश्यक होता है। इसकी दो सामान्य विधियाँ हैं। एक में परिमाण को देशित किया जाता है और उसे **देशन मीटर** (Indicating Meter) कहते हैं। दूसरी में, परिमाण में विचरण को देशित करने के साथ साथ अभिलिखित भी किया जाता है। ऐसे मीटर को **अभिलेखन मीटर** (Recording Meter) कहते हैं। वायुयान में यह आवश्यक होता है, कि सभी मापन राशियाँ एक पट पर सकेन्द्रित हों। परन्तु अन्य स्थानों में, जहाँ विद्युत मापन विधियों में बदलना हो वहाँ मापन का स्थायी अभिलेखन करना अच्छा रहता है। आने वाले दृष्टान्तों में देशन तथा अभिलेखन दोनों ही प्रकार के विद्युत मापन उपकरण दिये गये हैं।

मापन विधियों में प्रयोग होने वाले विद्युत सिद्धान्तों के आधार पर भी मापन उपकरणों का वर्गीकरण किया जा सकता है। व्हीटस्टोन सेतु, जिसका वर्णन तीसरे अध्याय में किया गया था; मापन की सर्वसामान्य विधियों में से एक है। शक्ममापी मापन विधि भी व्हीटस्टोन सेतु के इतनी समरूप होती है, कि दोनों के लिये वही सज्जा, उतनी ही अच्छी तरह प्रयोग की जा सकती है। इसका सिद्धान्त एक दृष्टान्त द्वारा बाद में समझाया जायगा। साधारणतया, सेतु परिपथ को रोध, प्ररोचिता अथवा धारिता जैसे परिपथ अंशकों के मापन में प्रयोग किया जाता है; और शक्ममापी को, अल्प वोल्टता का परिशुद्धता पूर्वक मापन करने के लिये प्रयोग किया जाता है।

सेतु तथा शक्ममापी दोनों में ही, एक स्वंकित विचरणशील परिपथ अंशक में तब तक परिवर्तन किया जाता है, जब तक कि औद्योगिक सक्रिय परिपथ अंशक द्वारा उत्पन्न वोल्टता अन्तर का समकरण न हो जाय। समकरण होने पर

वोल्टता अन्तर शून्य हो जाता है और ऐसे मापन को **शून्य मापन** (Null Measurement) कहते हैं; क्योंकि अन्तिम वाचन वोल्टता अन्तर के शून्य होने पर स्वंकित परिपथ अंशक का वाचन होता है।

धारा अथवा वोल्टता विचरण के मापन में, स्थायी चुम्बक चलन कुंडल प्ररूप के मीटर, देशन मीटरों के रूप में विस्तृत रूप से प्रयोग किये जाते हैं। इनको, व्हीटस्टोन सेतु तथा शक्म मापी परिपथों में असंतुलनके परिमाण को मापनेके लिये भी प्रयोग किया जाता है। कभी कभी इन मीटरों में स्थायी अभिलेखन के लिये अभिलेखन कलम भी लगे होते हैं।

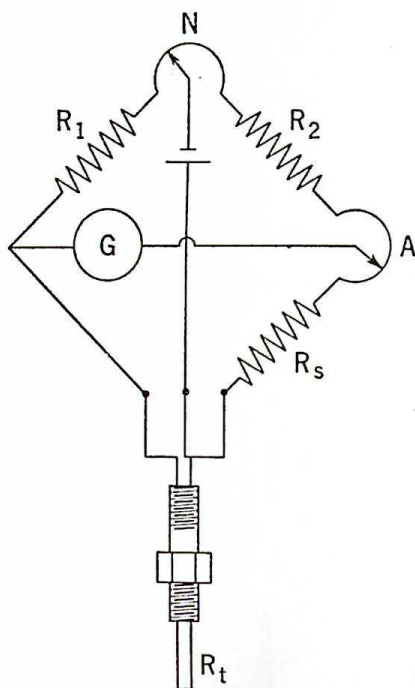
चित्र 18-1 : **रोध कुंडल के साथ, तापमान मापन के लिये प्रयोग किये जाने वाला व्हीटस्टोन सेतु**

जब मापन की जाने वाली राशि, द्रुत गति से विचरण करती हो, जैसा कि मशीनों में कम्पन ; तब, बहुधा, इस विचरण का उपलम्भन कर, उसको शून्यक नाल प्रवर्धक द्वारा प्रवर्धन करना आवश्यक होता है। इसके बाद इसे दोलन लेखी (Oscillograph) द्वारा अवलोकित अथवा अभिलिखित किया जा सकता है। इस उपकरण में धारा तथा वोल्टता मापन करने वाले अंशकों की जड़ता बहुत कम होती है, और इसलिये ये द्रुत विचरण के लिये भी ठीक प्रतिचारण कर सकते हैं।

रोधकुंडलों का प्रयोग करने वाले तापमान मापन

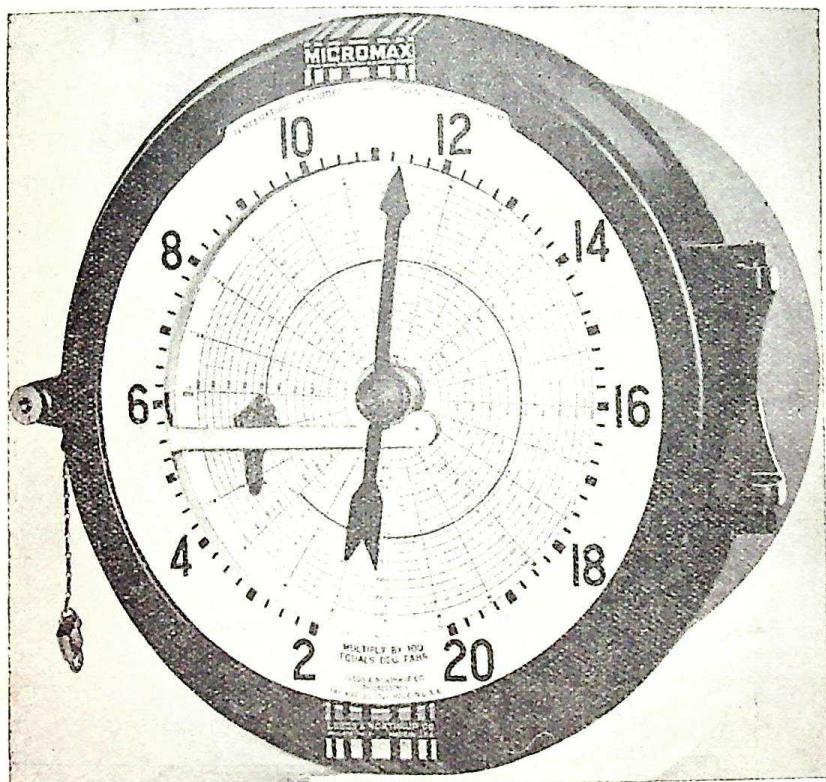
जैसा ऊपर कहा गया है, तापमान के साथ कुंडल के रोध में विचरण, बहुधा, तापमान मापन का आधार होता है। इस विधि में रोधकुंडल को तापमापी कूप (Well) अथवा किसी ऐसी स्थिति में रक्खा जाता है, जिसका तापमान मापना हो। सामान्यतः, कुंडल को व्हीटस्टोन सेतु के एक अंशक के रूप में प्रयोग किया जाता है, जैसा चित्र 18-1 में दिखाया गया है। इसका रोध ज्ञात कर, एक स्वंकित चार्ट (Calibrated Chart) से तापमान ज्ञात किया जा सकता है। अथवा सेतु को संतुलित करने वाले विचरोधक को ही सीधे तापमान बताने के लिये स्वंकित किया जा सकता है।

किसी भी उपलब्ध अभिलेखन मीटर द्वारा, इसका अभिलेख भी प्राप्त

किया जा सकता है। अधिकांश अभिलेखन मीटर एक से ही होते हैं, और उनमें असंतुलन को देशित करने के लिये एक गैल्वेनोमीटर लगा होता है। इस प्रकार सभी में एक मोटर यंत्र-विन्यास (Motor Mechanism) होता है, (जो इस गैल्वेनोमीटर द्वारा प्रवर्तित होता है) जो सेतु में संतुलन रखने के लिये R_s का विचरण करती है। R_s के सृप तार (Slide Wire) व्यवस्थापन से एक कलम गियरित होती है, जो R_s के विचरण को सीधे ही तापमान विचरण में देशित तथा अभिलेखित करती है। अधिक परिशुद्धता प्राप्त करने के लिये, परिपथ में विभिन्न परिष्कार निवेशित किये जाते हैं। एक निर्माता चित्र 18-2 के परिपथ का उपयोग करता है। अति उच्च परिशुद्धता प्राप्त करने के लिये कई पूर्वोपाय (Precautions) किये गये हैं जो, परिशुद्ध अभिलेखन मीटरों में प्रयुक्त विधियों की विशेषतायें होती हैं।

चित्र 18-2 : **व्हीटस्टोन सेतु में संस्पर्श अशुद्धि के निष्कासन के लिये प्रयुक्त एक परिपथ**

प्रथमतः, एक, तीन संवाहक केबिल (3-Conductor Cable), जिसके सभी संवाहक एक ही आकार के हों, तापमान-हृष कुंडल को सेतु से युजित करने के लिये प्रयोग किया गया है। चूँकि केबिल, R_s तथा R_t दोनों ही परिपथों में उतना ही रोध निवेशित करता है, इसलिये अभिलेखी तथा तापमापी के बीच की दूरी के लिये, किसी संशोधन की आवश्यकता नहीं होती।

दूसरे, अभिलेखी में दो सृप तार प्रयोग किये जाते हैं। संस्पर्श रोध के कारण उत्पन्न होने वाली अशुद्धियों के निरसन के लिये, एक A पर तथा दूसरा N पर स्थित होता है। A का संस्पर्शक गैल्वेनोमीटर परिपथ में होता है और चूँकि यह शून्य उपलम्भक (Null Detector) है, इसलिये थोड़े से अतिरिक्त रोध का, मापन पर कोई प्रभाव नहीं होता। इसी प्रकार N का संस्पर्शक, समूहा के साथ माला में है; और इसलिये मापन की परिशुद्धता को प्रभावित नहीं करता। जब A का सृप संस्पर्श, R_s के रोध को बढ़ाता है, तो साथ ही यह

R_2 के रोध को घटा देता है। चूँकि यह अपेक्षित होता है, कि R_1 सदैव R_2 के बराबर रहे, इसलिये N का सृप संस्पर्श इस प्रकार विन्यसित होता है, कि यह कमी को R_1 और R_2 में बराबर बराबर विभाजित कर दे। ऐसा होने के लिये, N पर के सृप तार का रोध, A के सृप तार के रोध से आधा होना चाहिये। चित्र 18-3 में इस परिपथ का उपयोग करने वाले मीटर, तथा इसके द्वारा अंकित, चार्ट दिखाया गया है।

चित्र 18-3 : **वर्तुल चार्ट सहित तापमान देशक एवं अभिलेखी**

स्विच करने के विन्यास इस प्रकार किये जा सकते हैं, जिससे कि इस प्ररूप का अभिलेखी 8 या 10 ऐसे रोध कुंडलों का तापमान मापन कर सके, और साथ-साथ एक चार्ट पर उनका सतत अभिलेखन भी कर सके। चूँकि इस प्ररूप के अभिलेखी उपकरण काफ़ी मँहगे होते हैं, इसलिये ऐसा करने से उपकरणन के व्यय में काफ़ी बचत की जा सकती है। इस प्रकार के मीटर में, स्वयं ही तापमान संधारण करने के लिये, नियंत्रक संस्पर्शक (Control Contacts) लगाना भी संभव है।

जब केवल तापमान का देशन करना ही पर्याप्त हो, और सारी डायल परास (Dial Range) पर उच्च परिशुद्धता अपेक्षित न हो; तो रोध विचरण

का मापन करने के लिये गैल्वेनोमीटर का भी प्रयोग किया जा सकता है। इस प्रकार के उपकरण, वायुयान उपकरण पट पर विशेष रूप से लाभदायक होते हैं। इस प्रयुक्ति में R_1,R_2 और R_3 रोध, परिमाण में स्थिर होते है ; तथा इस प्रकार व्यवस्थापित किये जाते हैं, कि सेतु उस तापमान पर अथवा उसके समीप ही संतुलित हो जाय, जिस पर उच्चतम परिशुद्धता अपेक्षित हो। सामान्यतः, R_1,R_2 और R_3 को एक ही चर्खी पर वर्तित किया जाता है, और गैल्वेनोमीटर आवरण के अन्दर आरोहित होते हैं। धारा प्रवाह के शून्य होने पर, (संतुलन की स्थिति में) मिलिवोल्टमीटर का व्यवस्थापन, अनुमाप पर इस तापमान को देशित करने के लिये किया जाता है। यदि तापमापी कूप में, रोध कुंडल इससे कम तापमान पर हो तो, चित्र 18-1 में देशित MB के आरपार वोल्टता कम हो जायगी और A से B की ओर एक धारा प्रवाहित होने लगेगी। चूंकि वोल्टता विचरण, और इसलिये मीटर का व्याकोचन, वस्तुतः, संतुलन से विचलन के समानुपात में होता है ; इसलिये मीटर अनुमाप को, वोल्टता अन्तर के स्थान पर, सीधे ही तापमान पढ़ने के लिये स्वंकित किया जाता है।

तापीय-युग्म द्वारा तापमान मापन

तापमान मापन की दूसरी सामान्य विधि, तापीय युग्म का उपयोग करती है। तापीय युग्म दो विभिन्न धातुओं को साथ-साथ संधान करके बनाया जाता है। इस संगम (Junction) के गर्म होने पर, दोनों धातुओं के बीच एक वोल्टता

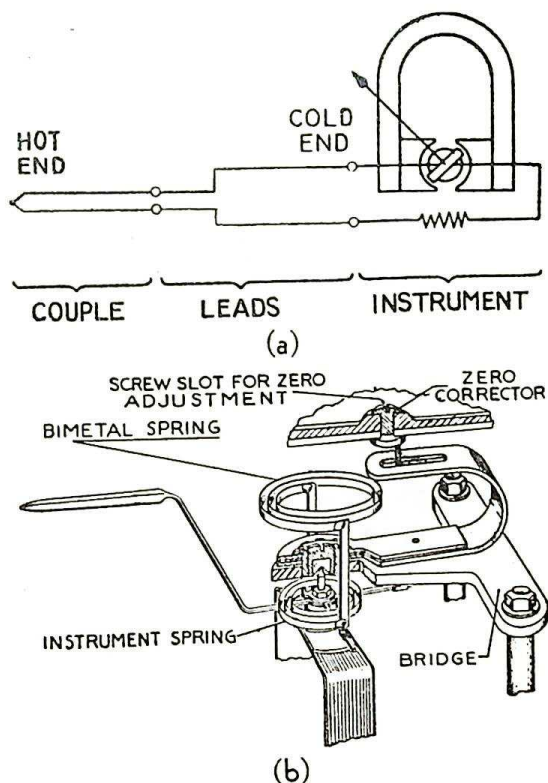
तालिका 18–1

सामान्य तापीय-युग्मों द्वारा जनित वोल्टतायें

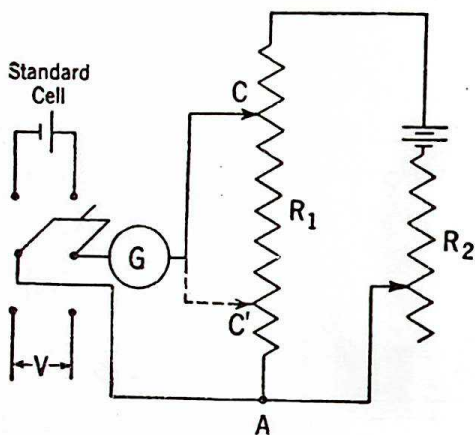
(ठंढे संगम का तापमान –o°c)

EMF, mv	Degrees C			EMF, mv	Degrees C		
	Platinum to platinum-(10% rhodium)	Platinum to platinum-(13% rhodium)	Copper to constantan		Chromel to alumel	Iron to constantan	Chromel to constantan
0	0	0	0	0	0	0	0
2	265	259	49	5	122	93	80
4	478	457	94	10	246	182	153
6	678	638	136	15	367	272	221
8	861	806	176	20	485	362	286
10	1037	964	213	25	602	453	350
12	1206	1114	250	30	720	543	413
14	1374	1259	285	40	966	711	537
16	1543	1404	319	50	1232	865	661
18	....	1550	353	60	....	...	786
				70	....	...	915

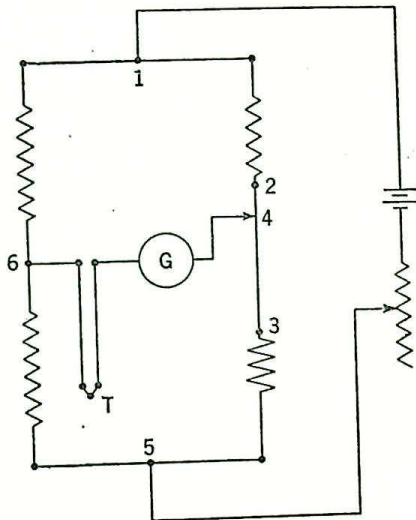
विकसित हो जाती है। इस वोल्टता का परिमाण, तापमान के लगभग समानुपात में होता है ; और इस प्रकार इसे, तापमान मापन के लिये प्रयोग किया जा सकता है। ठीक ठीक तो, इस वोल्टता का परिमाण, तापीय युग्म के 'गर्म संगम' तथा 'ठंढे संगम' के तापमान अन्तर के समानुपात में होता है। तालिका 18-1 में, सामान्य प्रयोग में आने वाले, छः तापीय युग्म पदार्थों की, गरम संगम के विभिन्न तापमानों पर, जनित वोल्टताओं के परिमाण दिये गये हैं ; जब कि ठंढे संगम को पिघलते बर्फ़ के तापमान पर ($O^\circ C$) पर रक्खा जाय।

जब केवल तापमान का देशन ही अपेक्षित हो, तब स्थायी चुम्बक चलन कुंडल प्ररूप का देशन मीटर ही प्रयोग किया जा सकता है जिसका परिपथ, चित्र 18-4 (*a*) में दिखाए गए परिपथ के समान होगा। इस परिपथ में वाहकों के ठंढे अवसान, मीटर से युजित हैं, और चूँकि यहाँ का तापमान काफ़ी बदल सकता है, इसलिये तापमान विचरण का समकरण करने के लिये, कुछ व्यवस्था करनी आवश्यक है। एक प्ररूप में यह, शून्य व्यवस्थापन तथा मीटर की बाल कमानी के बीच, एक द्विधातु कमानी लगाकर की जाती है। जैसा चित्र 18-5 (*b*) में दिखाया गया है, यह द्विधातु कमानी, उपकरण की शून्य स्थिति को इस प्रकार घुमा देगी कि तापमान में काफ़ी विचरण होने पर भी, मीटर, वास्तविक तापमान का ही वाचन देगा। तापमान के साथ, वाहकों के रोध में विचरण

चित्र 18-4 : (*a*) **तापमान मापन के लिये तापीय-युग्म परिपथ।** (*b*) **तापमान समकारक** (Temperature Compensator)। **समकरण द्विधातु कमानी द्वारा किया जाता है, जो तापमान विचरण के साथ भर जाती** (Winds) **अथवा खुल जाती है** (Unwinds) **और स्वयंक्रिय शून्य समकारक की भाँति कार्य करती है।**

का समकरण करना भी आवश्यक है। यह एक रोध निवेशित करके किया जाता है जिसका तापमान गुणक ऋणात्मक हो।

चित्र 18-5 : **सरल शक्ममापी परिपथ**

कभी-कभी तापीय युग्म के गरम संगम में रोध के विकास के कारण कठिनाई का अनुभव होता है। इस रोध का अभिभवन करने के लिये, जिससे अधिक परिशुद्धता प्राप्त हो सके, तापीय युग्म की वोल्टता का मापन, एक शक्ममापी द्वारा किया जाता है। शक्ममापी के मूलभूत सिद्धान्त में, मापी जाने वाली वोल्टता को, ज्ञात तथा प्रमापित परिमाण में धारा वहन करने वाले, एक प्रमापित रोध के आरपार वोल्टता पात के विरुद्ध संतुलित किया जाता है। इसे मापन युक्ति के रूप में प्रयोग करने पर, सामान्यतः, धारा को 1 अम्प० के दशमलव खंड के बराबर रक्खा जाता है, जैसे 1 मिलि अम्प०। धारा को इस ठीक मान पर प्रमापित करने के लिये, चित्र 18-5 में दिखाये गये विचरणशील संस्पर्शक को इस प्रकार व्यवस्थापित किया जाता है, कि A और C के बीच का रोध 1018·3 ओम हो जाय। 1 मि० अ० धारा के प्रवाहित होने में, A और C के बीच वोल्टता पात 1·0183 वोल्ट होगा जो प्रमाणिक कोशा की वोल्टता होती है। तब द्वि-क्षेप (Double Throw) स्विच, ऊपर की स्थिति में कर दिया जाता है; और R_2 को, गैल्वेनोमीटर की शून्य व्याकोचन स्थिति (Null Deflection Position) के लिये व्यवस्थापित कर लिया जाता है। इसके बाद द्विक्षेप स्विच को नीचे कर दिया जाता है; और विचरणशील संस्पर्शक 'C'' को फिर गैल्वेनोमीटर की शून्य व्याकोचन स्थिति के लिये व्यवस्थापित किया जाता है। तब अज्ञात वोल्टता का परिमाण, C' और A के बीच के रोध को 0·001 से गुणा करने पर ज्ञात हो जायगा। (C' विचरणशील संस्पर्शक की नई स्थिति है)।

चूँकि प्रमाणिक कोशा की वोल्टता लगभग 1 वोल्ट, तथा तापीय युग्म की वोल्टता केवल कुछ मिलिवोल्ट होती है; इसलिये कुछ उपकरणों में, इस परिपथ को थोड़ा बदल दिया जाता है। एक ऐसा परिपथ चित्र 18-6 में दिखाया गया है। यहाँ दो समानान्तर परिपथ प्रयोग किये गये हैं, और इनके आरपार की वोल्टता को एक प्रमाणिक कोशा के विरुद्ध प्रमापित कर लिया

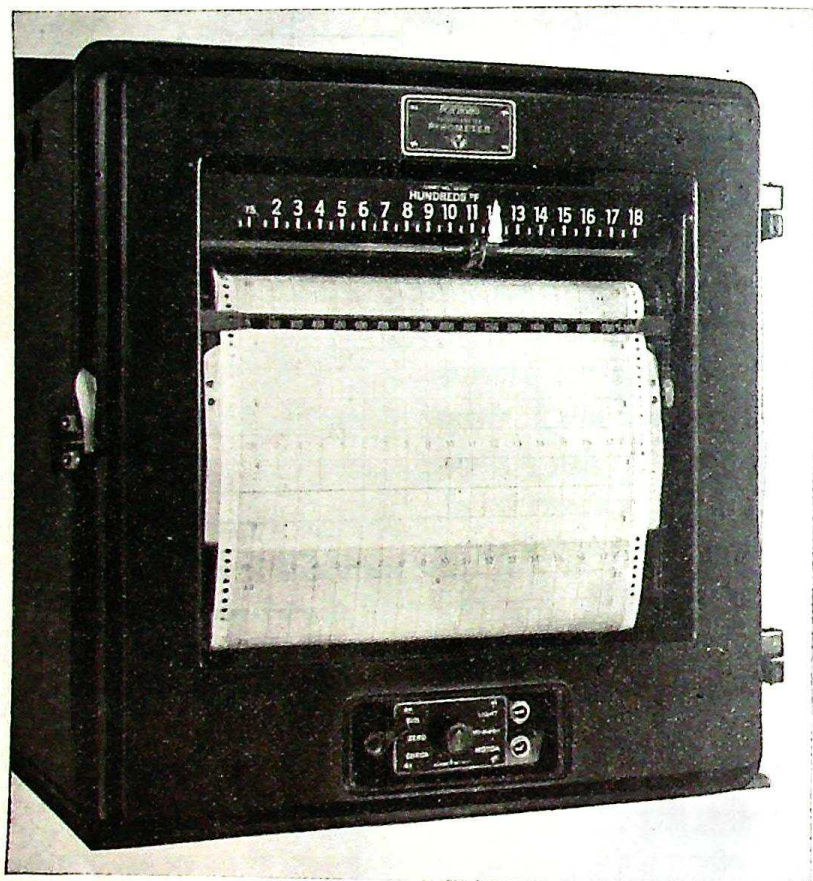
जाता है जैसा पहले समझाया गया है। (रेखाचित्र को सरल बनाने के लिये, प्रमापन युजनों को छोड़ दिया गया है)। परिपथ के बिन्दु 6 को स्थिर शक्म पर माना जा सकता है। यह शक्म, समानान्तर परिपथ के बिन्दु 2 के तदनुरूप होता है। बिन्दु 2 और 3 के बीच रोध तार होता है, जिस पर विचरण-शील संस्पर्शक सर्पण करता है। तापीय युग्म T को, गैल्वेनोमीटर G में से होकर, बिन्दु 6 और विचरणशील संस्पर्शक से युजित किया जाता है। जब विचरणशील संस्पर्शक, गैल्वेनो-मीटर की शून्य व्याकोचन स्थिति के लिये व्यवस्थापित हो जाता है, तो तापीय युग्म की वोल्टता, सृपतार के बिन्दु 2 और 4 के बीच के वोल्टता पात के ठीक बराबर होती है। सृप-तार को तापीय-युग्म वोल्टता के लिये, अथवा सीधे तापमान के लिये स्वंकित किया जा सकता है।

चित्र 18-6 : **तापमान मापन के लिये तापीय युग्म के साथ प्रयोग किया जाने वाला शक्ममापी परिपथ**

देशन मीटर की भाँति ही शक्म-मापी विधि में भी, ठंढे संगम के तापमान समकरण करने की आवश्यकता होती है। यह, सामान्यतः, किसी संतुलन परिपथ में एक रोधक को निवेशित करके दिया जाता है। जैसे, बिन्दु 1 और 6 के बीच के रोध को ऐसा रक्खा जा सकता है, कि ठंढे संगम के तापमान में वृद्धि होने पर, के वोल्टता पात में वृद्धि, तापीय-युग्म वोल्टता में कमी के ठीक बराबर हो। तब यह, सृपतार के बिन्दु 4 पर ठीक वाचन देता रहेगा।

चित्र 18-7 में स्वयं संतुलन (Self-balancing) अभिलेखन मीटर दिखाया गया है, जो इस प्रकार के परिपथ को प्रयोग करता है। इसमें, तथा पहले अध्ययन किये गये व्हीटस्टोन सेतु के संतुलन प्रवर्तन में बहुत कम अन्तर होता है।

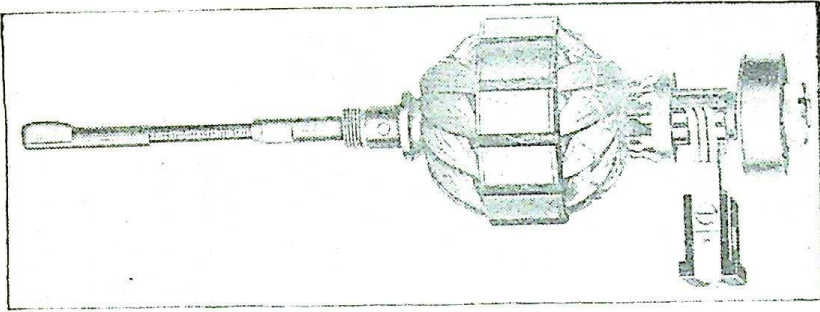
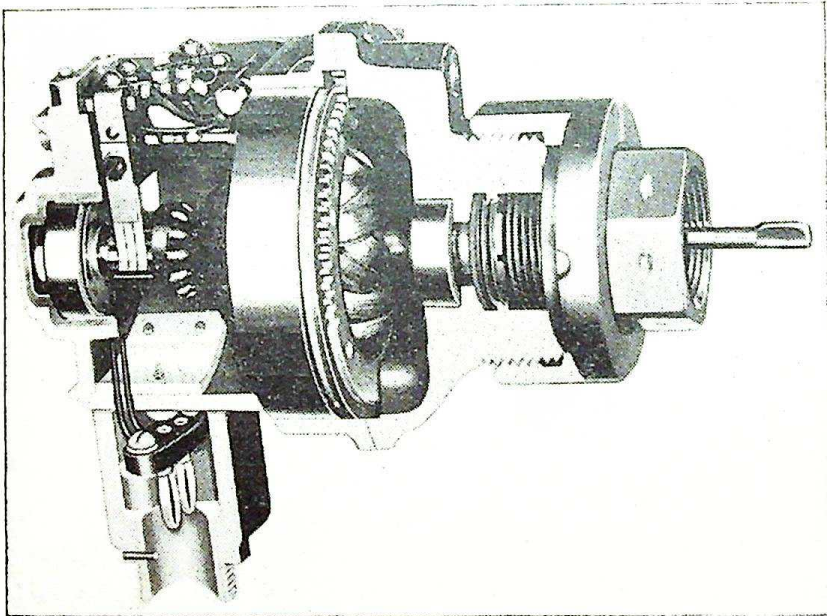
वेग का वैद्युतिक मापन (Electrical Measurement of Speed)

वेग मापन, साधारणतया, परिभ्रमण प्रवेग (Rotational Velocity) का मापन होता है। अनुरेखीय प्रवेग का मापन, सामान्यतः, प्रवेग को गियर (Gear), पट्टी (Belt) अथवा किसी अन्य यांत्रिक युक्ति से परिभ्रमण प्रवेग में बदलकर ही किया जाता है। परिभ्रमण प्रवेग को, सामान्यतः, स्थायी चुम्बक जनित्र के द्वारा मापा जाता है। इस जनित्र को मैगनीटो (Magneto)

कहते हैं। वेग मापन के लिये, परिभ्रामी अंशक को, इसके धात्र से युजित कर दिया जाता है। चूँकि इसकी क्षेत्र स्यंद एकसम रहती है, इसलिये जनित वोल्टता वेग के समानुपात में होती है। प० प्र० मि० में स्वंकित अनुमाप वाला एक वोल्टमीटर,

चित्र 18-7 : **चार्ट सहित तापमान देशक और अभिलेखी**

मैगनीटो से युजित होता है; और संतोषप्रद देशन मीटर का प्रावधान करता है।

वेग मापन के लिये प्रयोग किया जाने वाला एक मैगनीटो जनित्र की रचना चित्र 18-8 में दिखाई है। चित्र के (*a*) भाग में, अ० धा० धात्र व्यत्ययक तथा कूर्च दिखाये गये हैं। (*b*) भाग में एकत्रण किये हुए मैगनीटो का काटा हुआ दृश्य दिखाया गया है। ध्रुव, वर्तुल चुम्बक के दोनों ओर आमने सामने हैं। यह दो ध्रुव वाला जनित्र है। आधुनिक चुम्बक इस्पात की उच्च प्रतिधारिता (Retentivity) के कारण, इस प्रकार की रचना संभव हो सकी है। चूंकि जनित्र द्वारा प्रदत्त धारा को, केवल देशन वोल्टमीटर का ही प्रवर्तन करना होता है; इसलिये व्यत्ययन कठिनाई कम हो जाती है।

ऐसे टैकोमीटर देशक का प्रयोग डबल रोटी बनाने वाले बड़े कारख़ानों में किया जाता है, जहाँ भट्ठियाँ अनवरत प्रवर्तन करती हैं, और रोटियों इत्यादि

(a)

(b)

चित्र 18-8 : **एक टैकोमीटर मैगनीटो जनित्र का आन्तरिक दृश्य। (*a*) धात्र के कुंडल, व्यत्ययक प्रभागों से युजित हैं जिन पर अ० धा० का उन्नयन करने के लिये कूर्च स्थित होते हैं। (*b*) वर्तुल चुम्बक धात्र को चारों ओर से घेरे रहता है।**

को एक पट्टी वाहक के द्वारा भट्ठी में भेजा जाता है। पकायी जाने वाली वस्तुओं का भट्ठी में रहने का समय, पट्टीवाहक के वेग पर निर्भर करता है।

प्रतिबल का मापन (Measurement of Stress)

विकृति गेज (Strain Gages)—मशीनों में कम्पन की समस्याओं का समाधान करने के लिये, तथा कार्यरत संरचनाओं में प्रतिबल निकालने के लिये, विकृति गेज, विस्तृत रूप में प्रयोग होते हैं। इसलिये इनकी जानकारी सभी इंजीनियरों के लिये महत्वपूर्ण है। जैसा अध्याय 15 में बताया गया है, सूक्ष्म तारों को मशीन के तल अथवा संरचना अंशकों के तल पर इस प्रकार लगाया जाता है, कि ये उतने ही दीर्घित (Elongated) अथवा संपीडित (Compressed) हों, जितना कि मशीन अंशक का तल होता है। यदि लम्बाई में विचरण के साथ, रोध में होने वाला विचरण ज्ञात हो, तो इसे तल विकृति को मापने के लिये प्रयोग किया जा सकता है। इस प्रकार के विकृति गेज, जो पहले कागज पर आरोहित होते है, और पहले से ही प्रमापित एवं स्वंकित होते हैं; आजकल वाणिज्यिक रूप में उपलब्ध रहते है। इन्हें सीधे ही मशीन तल पर लगाया जा सकता है। गेज का तार, सामान्यतः, एक मिश्रातु का बना होता है और उसका व्यास 0·001 इंच होता है। स्थैतिक गेजों के लिये, ताम्र-निकिल मिश्रातु (Copper-Nickel Alloy) का बहुत प्रयोग किया जाता है, तथा प्रवैगिक विकृति प्रयोगों (Dynamic Strain Investigations) के लिये सामान्यतः, आइसो इलास्टिक का प्रयोग किया जाता है। ताम्र निकिल मिश्रातु के रोध का तापमान गुणक नगण्य होता है, और प्रति एक प्रतिशत लम्बाई में विचरण के साथ, रोध में केवल 2 प्रतिशत का विचरण होता है, जब कि आइसो-इलास्टिक मिश्रातु में यह विचरण 3·5 प्रतिशत होता है, और उसका तापमान गुणक भी उच्च होता है।

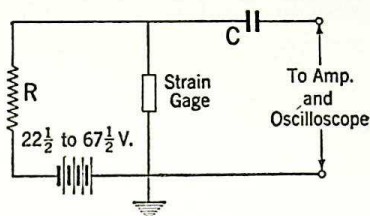
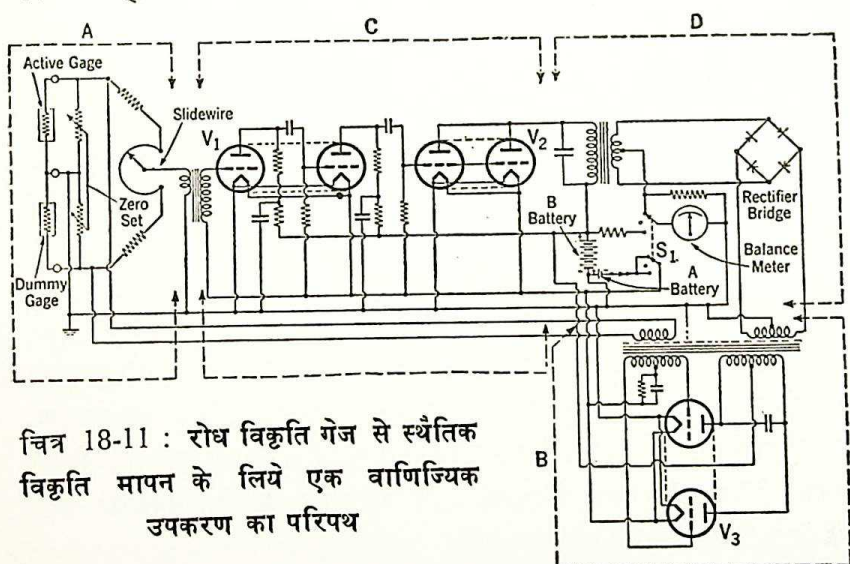
चित्र 18-9 : **एक प्रारूपिक विकृति गेज की रचना प्रदर्शित करने के लिये उसका प्लान तथा अनुप्रस्थ छेदीय दृश्य**

जब विकृति गेज को, कम्पन का अध्ययन अथवा प्रवैगिक विकृति मापन के लिये प्रयोग किया जाता है, तो चित्र 18-10 में दिखाए गए परिपथ का

उपयोग किया जा सकता है। रोध R को इस प्रकार व्यवस्थापित करना चाहिये, कि विकृति गेज में 30 मिलि अम्पधारा प्रवाहित हो। इससे एक 500 ओम की गेज के आरपार 15 वो० की वोल्टता प्राप्त होगी। यदि मशीन अंशक में 0·2 प्रतिशत के लम्बाई में विचरण का मापन करना हो, तो गेज के आरपार वोल्टता विचरण (आइसोइलास्टिक मिश्रातु का बना होने पर):—

चित्र 18-10 : **प्रबैगिक विकृति मापनकेलिये,शक्मविभाजकपरिपथ**

$$0{\cdot}002 \times 3{\cdot}5 \times 15 = 0{\cdot}105 \text{ वोल्ट होगा।}$$

यह वोल्टता, धारित्र C में से, प्रवर्धक की पहली नाल के ग्रिड तक पारेषित की जाती है, जैसा आठवें अध्याय में वर्णित किया गया है।

चित्र 18-11 : **रोध विकृति गेज से स्थैतिक विकृति मापन के लिये एक वाणिज्यिक उपकरण का परिपथ**

चित्र 18-11 में, स्थैतिक विकृति का मापन करने के लिये एक वाणिज्यिक उपकरण का परिपथ दिखाया गया है। व्हीटस्टोन सेतु A से चिन्हित, बिन्दुकित रेखाओं से घिरा हुआ, चित्र के बाँये भाग में दिखाया गया है। गेज के रोध के अल्प विचरण का समकरण करने के लिये, और सूप तार पर ठीक शून्य व्यवस्थापन देने के लिये, शून्य व्यवस्थापन सेट, दो उच्च रोधों से बना होता है, जैसा चित्र में दिखाया गया है। वास्तविक मापन, संतुलन प्राप्त करने के लिये, सूप तार का हाथ से व्यवस्थापन करके किया जाता है।

दोलक (oscillator), जो B से चिन्हित बिन्दुकित रेखा द्वारा घिरा हुआ दिखाया गया है, सेतु की श्रव्य वारंवारता वोल्टता प्रदाय करता है।

असंतुलन अथवा उपलम्भक धारा को, परिवर्तक में से, और उसके बाद तीन क्रम वाले में से ले जाकर संतुलन का निश्चायन किया जाता है। (प्रवर्धक, C द्वारा चिन्हित, बिन्दुकित रेखाओं से घिरा हुआ दिखाया गया है)। यह अवलोकित होगा, कि पहले दो क्रम, एक नाल आवरण (Enevelope) में हैं, और दूसरे नाल आवरण में, नाल अंशक समानान्तर में युजित हैं। प्रवर्धक प्रथा को उपलम्भक प्रभाग (Detecting Section) D में प्राशित (Fed) किया जाता है, जिससे कि A पर का अल्प असंतुलन भी, इतना बड़ा हो जाता है, कि संतुलन मीटर उसका उपलम्भन कर सके।

उपलम्भक अंशक का प्रवर्तन, गोल ऋजुकारी अंशक (Ring Rectifier Element) के कारण कुछ जटिल हो जाता है।* इसको सेतु की असंतुलित होने वाली दिशा का देशन करने के लिये, एक मध्य शून्य संतुलन मीटर के साथ प्रयोग किया जाता है। यह परिपथ, इलेक्ट्रॉनिक सज्जा से सम्बन्धित बहुत से उपज्ञातिन (Ingenious) परन्तु कुछ जटिल परिपथों का निदर्शन करता है। ऐसे परिपथ, इलेक्ट्रॉनिक सज्जा द्वारा, विशेषतया कठिन उद्देश्यों की पूर्त्ति के लिये बहुत ही उपयोगी होते हैं। इलेक्ट्रॉनिक परिपथों का विश्लेषण करते समय, परिपथ को कार्य के आधार पर, प्रभागों में बाँट लेना अच्छा रहता है, जैसा कि उपर्युक्त परिपथ में किया गया है। और तब प्रत्येक अंशक का विश्लेषण बहुत सरल हो जाता है।

दबाव का मापन (Measurement of Pressure)

दबाव का मापन, साधारणतया, दबाव को उसके समानुपाती चलन अथवा व्याकोचन में परिवर्तित करके किया जाता है। तब इस चलन का उपयोग, रोध, प्ररोचिता या धारिता जैसे किसी विद्युत् अंशक में अथवा एक पीज़ो-विद्युत् स्फट (Piezo-Electric Crystal) के आर-पार वोल्टता विचरण करने के लिये किया जाता है।

एक विधि में, एक रोध तार की विकृति गेज का प्रयोग किया जाता है; जो एक बहुत छोटे आकार के रम्भ की वृद्धि (Expansion) का मापन करता है, जिस पर दबाव पड़ रहा हो। (इस रम्भ का व्यास लगभग $\frac{1}{4}$ इंच होता है)। 1000 पौंड प्रति वर्ग इंच तक का दबाव मापने के लिये, यह विधि

---

* इस गोल ऋजुकारी सेतु का प्रवर्तन, इस तथ्य पर आधारित होता है, कि दोलक से प्राप्त वोल्टता, प्रवर्धक उपलम्भक से प्राप्त होने वाली वोल्टता से काफ़ी अधिक होती है। इससे यह निश्चय हो जाता है कि सेतु के कौन से अंशक, प्रति अर्ध चक्र में अल्प अथवा उच्च रोध के हैं। प्रवर्धक का प्रदा, एक असंमितीय (Unsymmetrical) परिपथ पर आरोपित किया जाता है, और इस प्रकार संतुलन मीटर में एक धारा प्रवाहित होती है, जिसकी दिशा दोलक वोल्टता के सापेक्ष, प्रवर्धित वोल्टता की ध्रुविता पर निर्भर करती है।

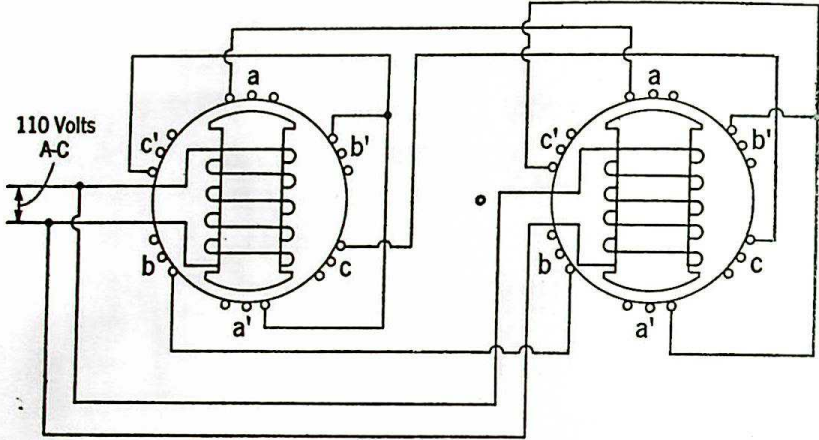
बहुत उपयोगी है। जड़ता के कम होने के कारण, कई हज़ार चक्र प्रति सेकंड तक, वारंवारता प्रतिचारण संतोषप्रद होता है। यह प्रयुक्ति, विकृति गेज जैसी, उपकरणन की एक ही प्रविधि (Technique) का विस्तृत उपयोजन (Adaptability) दिखाती है।

दूसरी दबाव मापन विधियों में, प्ररोचिता अथवा धारिता के विचरण का उपयोग किया जाता है। इन सभी में, प्रवर्धकों का उपयोग करना पड़ता है और कुछ दशाओं में, ऐसे परिपथों का भी उपयोग होता है, जो अवकलक (Differentiator) तथा अनुकलक (Integrator) का कार्य करते हैं। इस कारण दबाव मापन के इन विद्युत् उपकरणों का प्रयोग, अधिकतर उच्च दबाव की शोधन समस्याओं तक ही सीमित है। उदाहरणार्थ, आन्तरिक दहन एंजिनों (Internal Combustion Eugines) के रम्भों (Cylinders) के दबाव के अध्ययन में इनका उपयोग होता है।

स्थिति का वैद्युतिक देशन (Electrical Indication of Position)

एक स्थान से दूसरे स्थान को, स्थिति का वैद्युतिक पारेषण करने की विधि का विस्तृत रूप से प्रयोग हो रहा है। इन तन्त्रों के व्यापारिक नाम **सेलसिन** (Selsyn), **ऑटोसिन** (Autosyn) इत्यादि हैं। इस तन्त्र में दो एक से स्थाता प्रयोग किये जाते हैं; जो त्रिफ़ेज वर्तन के प्ररोवन मोटर के स्थाताओं के समान होते हैं। इनमें द्विध्रुवी क्षेत्र प्रयोग किये जाते हैं, जिनको घुमाया भी जा सकता है। दोनों 110 वो० की एक ही प्र० धा० लाइन से प्रदीपित होते हैं। स्थाताओं का युजन संमितीय रूप से होता है, जैसा चित्र 18-13 में दिखाया गया है। यदि बाँई ओर का एकक देने वाला अथवा जनित्र हो, और दाहिनी ओर का पानेवाला अथवा मोटर हो, तो जनित्र की भ्रमिता की स्थिति, उस मशीन अंशक की स्थिति पर निर्भर करेगी, जिसको इसके द्वारा दूरस्थ स्थिति में देशित कराना हो। भ्रमिता के एक स्थिति निश्चित कर लेने के बाद, यह स्थाता वर्तन में परिवर्तक-क्रिया द्वारा एक वोल्टता जनित करेगी। स्थाता वर्तन की वोल्टतायें, सभी काल प्रावस्था में होंगी, किन्तु परिमाण में भिन्न होंगी। ये वोल्टतायें, मोटर स्थाता में धारा प्रवाहित करेंगे और इन धाराओं के द्वारा एक विभ्रमिषा उत्पन्न होगी, जो मोटर भ्रमिता को घुमाएगी। ऐसा तब तक होता रहेगा, जब तक मोटर भ्रमिता, जनित्र भ्रमिता की स्थिति में न आ जाय। ऐसा होने पर, एक जैसे भ्रमिताओं की परिवर्तक-क्रिया द्वारा उत्पन्न, दोनों स्थाताओं की वोल्टतायें बराबर होंगी, और उनमें कोई धारा नहीं प्रवाहित होगी। चूंकि मोटर भ्रमिता, किसी भी स्थिति में घूम जाने के लिये स्वतन्त्र है, इसलिये वह सदैव जनित्र भ्रमिता की स्थिति का अनुसरण करेगी।

विद्युत उपकरणों का चयन

विद्युत् उपकरणों का चयन, कभी भी केवल इसलिये नहीं करना चाहिये कि वे वैद्युतिक हैं। जब तक ये अधिक परिशुद्ध, एवं विश्वसनीय न हों; अथवा किसी केन्द्रीय स्थिति में देशन तथा अभिलेखन का प्रावधान कर सकें, या अन्य

चित्र 18-12 : **सेलसिन युजन रेखाचित्र** (Diagram of Selsyn Connections)

किसी प्रकार से प्रवर्तन मूल्य को कम कर सकें, या उत्पादन को सुधार सकें, तब तक इन्हें अधिष्ठापित नहीं करना चाहिये। अच्छे उपकरणन से अच्छे लाभांश मिलेंगे, परन्तु उपकरणन की अति नहीं करनी चाहिये।

स्थानीय देशन तथा अभिलेखन, अधिष्ठापन के आरम्भिक मूल्य में बचत करते हैं। परन्तु केन्द्रीय स्थिति में इनके लाभ ये हैं :—चार्टों को बदलने के व्यय में बचत, केन्द्रीय स्थिति से संयन्त्र को देखने-भालने की सुविधा, तथा उपकरणों को संक्षारी (Corrossive) धुएँ इत्यादि से बचाना तथा इन सबके कारण संधारण मूल्य में कमी। इन सब लाभों को दृष्टि में रख कर एक केन्द्रीय उपकरण कोष्ठ का अधिष्ठापन ही उचित होगा।

आत्मग नियंत्रण, सामान्यतः, उपकरणन से संयवित होता है। इसका पर्यालोचन अध्याय 19 में किया गया है। सज्जा का निश्चायन, जिसमें नियंत्रण तथा उपकरणन दोनों सम्मिलित हों, बहुधा, आत्मग नियंत्रण लक्षणों पर निर्भर करता है।

उपकरण संधारण (Instrument Maintenance)

उपकरणन का कोई भी तन्त्र उतना ही अच्छा है, जितना कि इस सज्जा की देख-भाल। अत्याधिक परिशुद्ध एवं सुकुमार यंत्र कल्प विन्यास वाली आधुनिक सज्जा की देख-भाल, बुद्धिमान तथा सुप्रशिक्षित व्यक्तियों द्वारा होनी चाहिये।

यह आवश्यक नहीं है, कि वे उपकरणों का अभिकल्प करने के योग्य हों, किन्तु उन्हें उपकरणों के प्रवर्तन का ज्ञान भली-भाँति होना चाहिये।

अभ्यास 18-1 : एक ऐसे मीटर की प्ररचना कीजिये, जो वायुयान में माल के भार को बता सके। (इंगित : उतारने वाले पहियों (Landing Wheels) के आधार पर विकृति गेज एक संभावना है)।

अभ्यास 18-2 : एक त्वरण मीटर का अभिकल्पन कीजिये ; जो एक परिनालिका की प्ररोचिता को बदलने के लिये, एक कमानी द्वारा नियंत्रित लौह आर्मेचर का उपयोग करता हो।

अभ्यास 18-3 : यह दिखाइये, कि एक एंजिन की कर्षक शक्ति (Draw-bar pull) का मापन एक विकृति गेज द्वारा किस प्रकार किया जा सकता है ? परिशुद्ध परिणाम प्राप्त करने के लिये क्या-क्या पूर्वोपाय करने होंगे ? इसको किस प्रकार स्वंकित किया जा सकता है ?

अभ्यास 18-4 : प्रतिबलित (Stressed) संरचना अंशक में, दो विकृति गेज माला में क्यों प्रयोग किये जाते हैं (प्रत्येक पार्श्व में एक-एक)।

उन्नीसवाँ अध्याय

औद्योगिक तन्तुकन तंत्र

(INDUSTRIAL WIRING SYSTEMS)

औद्योगिक अधिष्ठापनों के प्ररूप

औद्योगिक अधिष्ठापन विभिन्न आकार के होते हैं : एक अश्व शक्ति से भी कम की एक एकीफ़ेज़ मोटर का उपयोग करने वाली एक जूते की दूकान से ले कर, कई बड़े नगरों की अपेक्षा अधिक शक्ति का उपयोग करनेवाले वृहद् कारखानों तक। अतः विद्युत् शक्ति अधिष्ठापन की समस्या भी, एकीफ़ेज़ तन्तुकन योजना से ले कर, अति जटिल और सावधानी पूर्वक अभिकल्पित विभाजन तन्त्रों तक विचरण करेगी। किन्तु, सामान्यतः, औद्योगिक तन्तुकन समस्या की इन चरम सीमाओं पर भी, बहुत कम कठिनाई का अनुभव होता है। राष्ट्रीय विद्युत् संहिता तथा उस क्षेत्र की विद्युत् कम्पनी के नियमों के आधार पर स्थानीय विद्युत् ठेकेदार भी, सरल तन्त्रों का ठीक अभिकल्पन कर सकते हैं। परन्तु बड़े और जटिल अधिष्ठापन, सुयोग्य इंजीनियरों द्वारा ही कराने चाहिये।

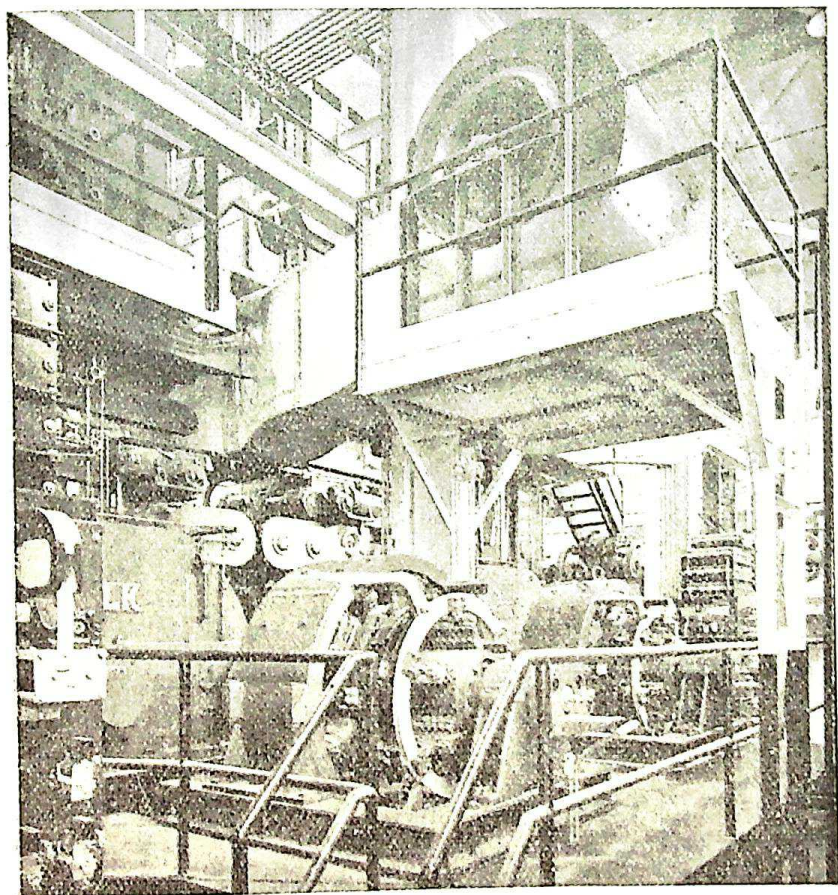
शक्ति प्रभव (Power Sources)

अधिकांश मध्यम आकार के औद्योगिक अधिष्ठापन, स्थानीय विद्युत् कम्पनी से ही शक्ति लेंगे। **नये अधिष्ठापनों के लिये, अथवा वर्तमान सज्जा में गंभीर परिवर्तन करने के लिये विद्युत् कम्पनी के इंजीनियरों की सलाह लेनी आवश्यक है।** साधारणतया विद्युत् कम्पनी से शक्ति प्रदाय, त्रिफ़ेज़ 3300, 6600 अथवा 11000 वोल्ट पर उपलब्ध होता है। छोटे अधिष्ठापनों के लिये अथवा अधिक भार घनत्व के क्षेत्र में, मध्यम अधिष्ठापनों के लिये त्रिफ़ेज़ प्रदाय 440 वोल्ट पर भी उपलब्ध होता है।

जब एक शक्ति संयंत्र, औद्योगिक संयंत्र के एक प्रभाग के रूप में पहले से अधिष्ठापित होता है, तो यह उपर्युक्त वोल्टताओं में से किसी एक पर ही होगा। उद्योग के विभिन्न भवनों की, तथा अलग-अलग प्रवर्तन विधायनों की विभाजन समस्या लगभग एक सी रहती है; चाहे शक्ति विद्युत् कम्पनी से ली जाय अथवा स्थानीय शक्ति संयंत्र ले ली जाय।

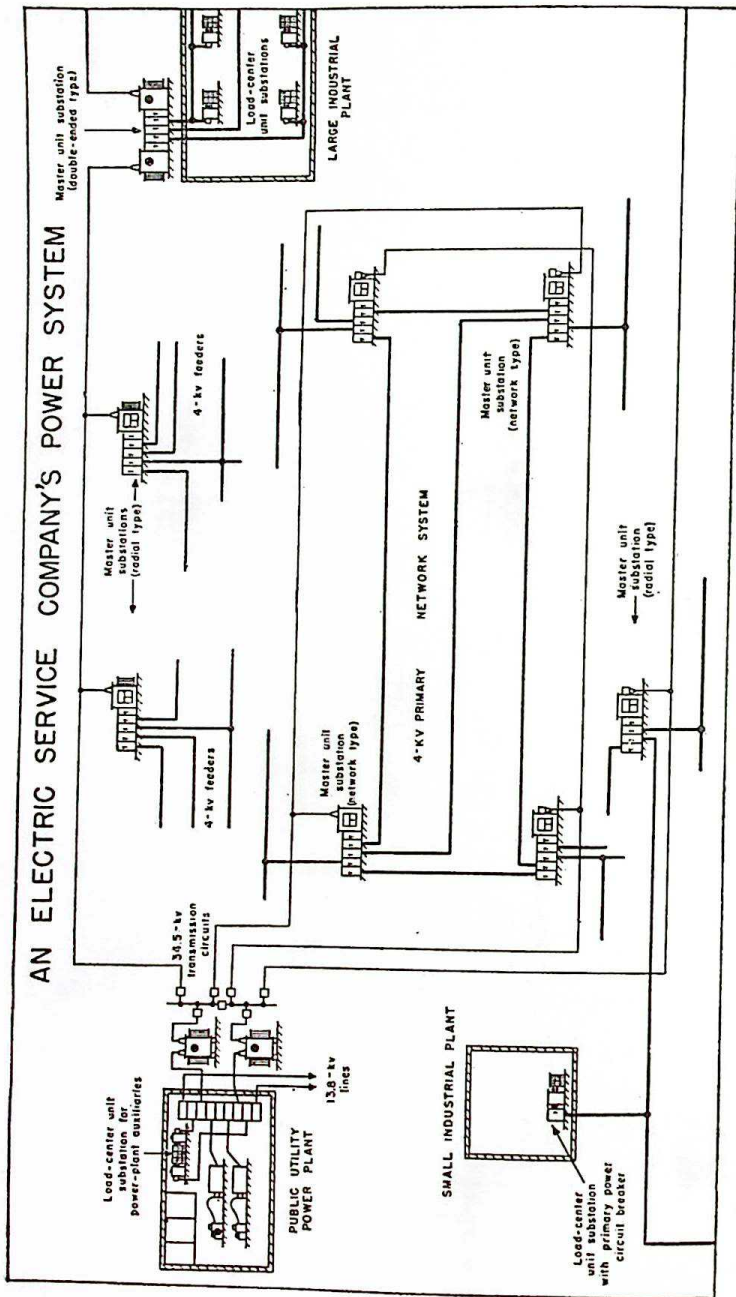
औद्योगिक तन्तुकन तंत्रों में अभिकल्पन विचार
(Design Considerations in Industrial Wiring Systems)

औद्योगिक तन्तुकन तन्त्रों के बहुत से अभिकल्पन उद्देश्य सभी इंजीनियरी अभिकल्पों के समान ही होते हैं। ये निम्नलिखित हैं :—प्रथम मूल्य में मित-

व्ययिता, अल्प प्रवर्तन मूल्य, संतोषप्रद अनवरत प्रदाय, विश्वसनीयता, विस्तार योजनायें और संरक्षण। इनके अतिरिक्त, अभिकल्प ऐसा होना चाहिये कि संतोषप्रद वोल्टता यामन (Voltage Regulation) का प्रावधान हो और राष्ट्रीय विद्युत् संहिता के अनुसार हो। साथ ही साथ, उन राष्ट्रीय समितियों* के अभिस्तावों के अनुसार हो, जिनके सदस्यों ने निरंतर अनुभव के आधार पर, प्रमाणों को देशित किया है।

चित्र 19-1 : विधायन उद्योग (काग़ज मिल) के लिये विद्युत् सज्जा प्रयुक्ति का एक प्रारूपिक निदर्शन

प्रभासन परिपथों पर वोल्टता यामन 5 प्रतिशत से अधिक नहीं होना चाहिये, क्योंकि उत्ताप दीपों में, वोल्टता में 5% से अधिक की कमी होने पर, प्रभासन में 15% की कमी हो जाती है। आशमान दीप, वोल्टता विचरण के लिये

---

* *A.I.E.E.* का "औद्योगिक यंत्रों के लिये विद्युत शक्ति विभाजन" नाम की विज्ञप्ति, किसी भी अधिष्ठापन के अभिकलपन प्रमापों का अध्ययन करने में सहायक हो सकती है।

चित्र 19-2 : एक औद्योगिक भार को प्रदाय करने वाले शक्ति तंत्र का एक प्रारूपिक एकरेखा रेखाचित्र

इतने हृष नहीं होते, परन्तु इनमें भी क्षमित वोल्टता से 10% से अधिक का विचरण नहीं होना चाहिये। विद्युत् मोटर भी क्षमित वोल्टता से 10% अधिक अथवा कम वोल्टता से अधिक पर संतोषप्रद प्रवर्तन नहीं करते। साधारणतया, नये अधिष्ठापनों में, वोल्टता विचरण, 3 प्रतिशत से अधिक नहीं होना चाहिये।

जहाँ भार में वृद्धि करनी हो अथवा सज्जा की स्थिति में परिवर्तन करना हो, वहाँ वर्तमान तन्तुकन तन्त्र की पर्याप्तता (Adequacy) का भी ध्यान रखना चाहिये। किसी तन्तुकन तन्त्र को जो अपर्याप्त हो गया हो, हटा देने का निश्चय करना सदैव कठिन होता है, क्योंकि इसमें काफ़ी खर्च आता है, जिसे निम्नलिखित तथ्यों के आधार पर उचित ठहराना आवश्यक है। प्रवर्तन मूल्य में कमी, वैद्युतिक निष्पादन में सुधार (जिसे घटे हुए उत्पादन मूल्य के रूप में आँका जा सकता है), आग लगने के भय का निष्कासन, कर्मचारियों की सुरक्षा तथा भविष्य में विस्तार योजना के लिये खर्चे में बचत (यदि वर्तमान तन्त्र की अपर्याप्तता निश्चय ही सिद्ध हो सके) इत्यादि।

इन विचारों को सामान्यत:, रुपये में आँकना कठिन होता है। आर्थिक पहलुओं को संस्था के विभिन्न व्यक्ति, विभिन्न रूप से निर्वचित करते हैं। इसलिये यह आवश्यक है, कि इंजीनियर, प्रबन्धक वर्ग के साथ मिल कर काम करे और उनके द्वारा भविष्य की विकास योजनाओं की स्पष्ट धारणा रक्खे।

यदि तन्तुकन तन्त्र में, विचाराधीन संकलन, अथवा परिवर्तन के कारण, बड़ा परिवर्तन करना आवश्यक न हो, परन्तु भविष्य में ऐसे बड़े परिवर्तन होने की आशा हो, तो वर्तमान परिवर्तन को इस प्रकार करना चाहिये कि भविष्य की योजनाओं में ठीक बैठ सके ; अथवा इसे केवल अस्थायी रूप में ही करना चाहिए। अस्थायी अभ्युपाय, वर्तमान ख़राब औद्योगिक तन्तुकन के लिये उत्तरदायी हैं। बहुधा ये अस्थायी अभ्युपाय काफ़ी लम्बे समय के लिये अस्थायी ही चलते रहते हैं। यदि वर्तमान तन्तुकन तन्त्र पर्याप्त धारिता का हो, तो कोई समस्या नहीं उत्पन्न होती, क्योंकि वोल्टता, फ़ेज़ संख्या, सामान्य तन्तुकन विधि तथा अन्य उल्लक्षण पहले से ही निश्चित रहते हैं।

विभाजन के लिये वोल्टता का चयन
(Selection of Voltage for Distribution)

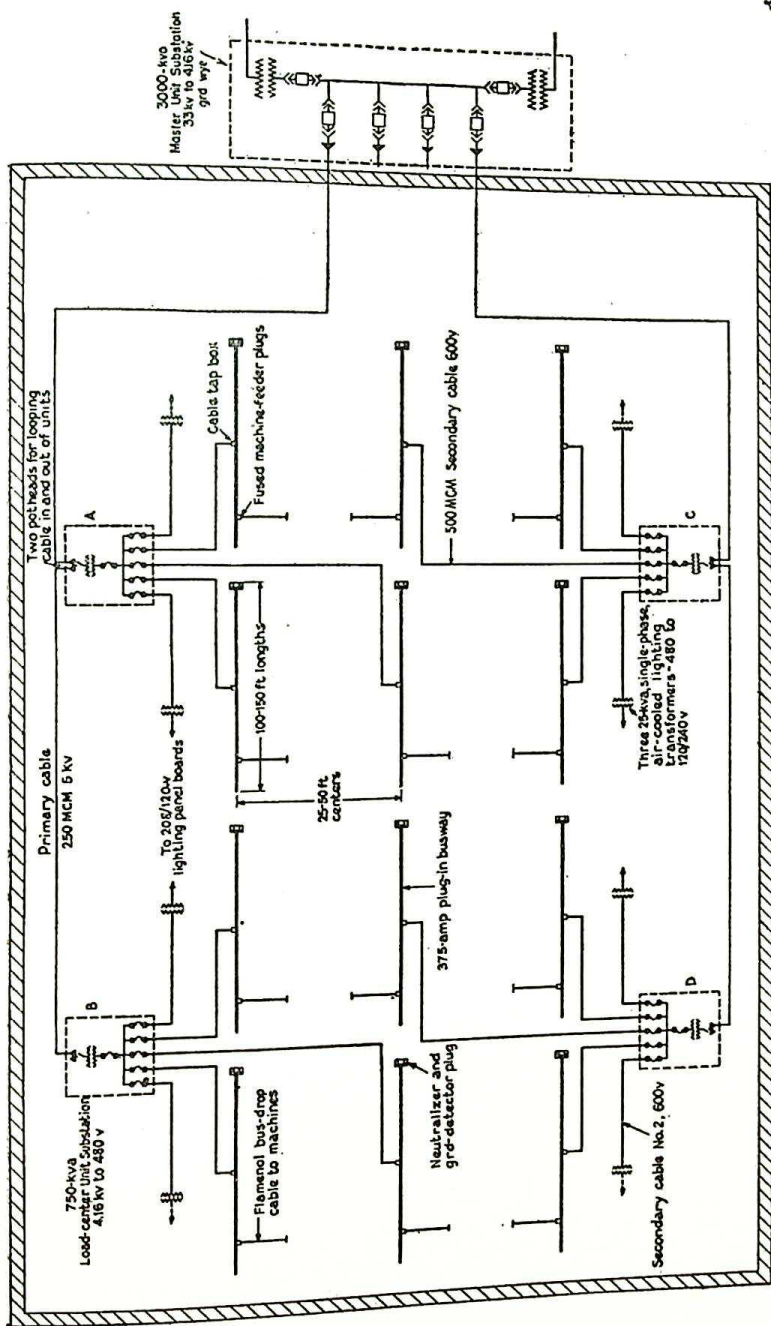
जहाँ नया अधिष्ठापन अथवा तन्तुकन योजना में एक भारी परिवर्तन विचाराधीन हो, वहाँ सबसे पहले यह निश्चित करना होगा ; कि तन्त्र, पूर्णतया, अल्प वोल्टता का होगा, अथवा अल्प और उच्च वोल्टता का संयोजन अच्छा रहेगा। उपर्युक्त अभिकल्प निकर्ष (Design Criteria) इस प्रश्न के अंतिम निश्चय को, निश्चित करेंगे।

छोटे अधिष्ठापनों में, विभिन्न वोल्टताओं का प्रयोग सर्वथा उचित नहीं ठहराया जा सकता। परिवर्तित्र अभिकल्प तथा संवेष्ठित औद्योगिक उपस्थात्रों (Packaged Industrial Substations) में आधुनिक विकासों के कारण, मध्यम आकार के अधिष्ठापनों के लिये, वोल्टताओं के संयोजन का प्रयोग काफ़ी हो गया है। आजकल परिवर्तित्र, वायु-शीतित और अज्वलनशील शीतन द्रवों (Noninflammable Cooling Liquids) का प्रयोग करने वाले प्ररूपों में मिलते हैं, जिनको बिना परिवर्तित्र प्रकोष्ठ के उत्पादन भवनों में रक्खा जा सकता है। परिवर्तित्र तथा तत्सम्बन्धी अल्प वोल्टता स्विच अथवा नियंत्रक पट, एक साफ़ और संविद धातु के आवरण में रक्खे जा सकते हैं, जो बहुत कम स्थान घेरता है। इस तरह परिवर्तित्र की, शक्ति उपयोगिता स्थितियों से दूरी अल्पतम हो जाती है।

भार केन्द्र पर स्थित परिवर्तित्र उपस्थात्रों को उच्च वोल्टता पर शक्ति प्रदाय करने के कई लाभ हैं। इससे, दक्षता में वृद्धि, शक्ति व्यय में बचत, तथा भार विस्तार योजनाओं के लिये, अथवा उत्पादन विधायनों में परिवर्तन करने के लिये अधिक आनम्यता प्राप्त होती है। साथ ही वोल्टता यामन (Voltage Regulation) भी सुधर जाता है, और अंतत प्रभासन अच्छा हो जाता है, तथा उत्पादन में वृद्धि होती है। बहुत सी अवस्थाओं में यह पाया जायगा, कि उपर्युक्त लाभों के अतिरिक्त, इसमें अल्प वोल्टता अधिष्ठापनों की अपेक्षा, प्रथम मूल्य में भी बचत होती है। इसका मुख्य कारण यह है, कि अल्प वोल्टता अधिष्ठापनों में प्रयोग होनेवाले, मोटे ताँबे के तारों के लम्बे परिपथों की आवश्यकता नहीं रह जाती।

उच्च तथा अल्प वोल्टता दोनों प्रयोग करने वाले, मध्यम आकार के औद्योगिक अधिष्ठापनों के लिये, उपलब्धि के अनुसार उच्च वोल्टता 3300, 6600, या 11000 वोल्ट होगी। 100 *K.V.A.* से कम के अधिष्ठापनों के लिये, उच्च तथा अल्प दोनों ही वोल्टतायें प्रयोग करना उचित नहीं होगा; जब तक कि भार, शक्ति प्रभव से दूरी पर स्थित न हो। जहाँ पर कई सौ *K.V.A.* का भार, काफ़ी बड़े क्षेत्रफल में फैला हुआ हो, वहाँ विभिन्न भार केन्द्रों पर परिवर्तित्र उपस्थात्रों के अधिष्ठापित करने की संभावना का सावधानी पूर्वक विचार करना चाहिये।

द्वितीयक तंत्र के प्ररूप का चयन
(Selection of the Type of Secondary System)

230 वोल्ट का एकीफ़ेज़ तंत्र, केवल प्रभासन भार अथवा 5 कि० वा० से कम के शक्ति भारों के लिये ही मितव्ययी होता है। साधारणतया, सभी औद्योगिक तन्तुकन तंत्र त्रिफ़ेज़ ही होते हैं।

चित्र 19-3 : औद्योगिक उपयोग के लिये एक प्रारूपिक शक्ति विभाजन तंत्र का एकीरेखा रेखाचित्र

230 वोल्ट एकीफ़ेज़, 400 वोल्ट त्रिफ़ेज़ चार तार तंत्र का वर्णन, अध्याय 8 में किया गया था। इस तंत्र का सबसे बड़ा लाभ यह है, कि प्रकाश और शक्ति दोनों ही उन्हीं तारों से प्राप्त की जा सकती है। जहाँ प्रभासन भार मुख्य हो, वहाँ यह सबसे अधिक संतोषप्रद द्वितीयक तंत्र है। जहाँ सारा भार केवल मोटरों का हो, वहाँ सामान्यत: 400 वोल्ट त्रिफ़ेज़ त्रितार तंत्र प्रयोग किया जाता है।

परिपथ रक्षण के हेतु स्वयंक्रिय स्विच (Automatic Switches for Circuit Protection)

सभी विद्युत परिपथों में लघुपरिपथ एवं अतिभार होने की संभावना रहती है, जिससे कभी-कभी आग लगने का भय भी रहता है। प्रत्येक परिपथ में 'ज्वाल' (Fuse) अथवा एक ऐसे स्वयंक्रिय स्विच का प्रावधान रहता है, जो अति भार अवस्था में, परिपथ को शक्ति प्रभव से वियुजित कर दें। परिपथ रक्षण की प्राचीनतम, सबसे सस्ती और अब भी महत्वपूर्ण विधि, ज्वाल का प्रयोग करने की है। धारा के क्षमित मान से बढ़ जाने पर, ज्वाल पिघल कर परिपथ को वियुजित कर देता है। किन्तु इसका मुख्य अलाभ यह है, कि इसे फिर से लगाने के लिये एक देखभाल करने वाले की आवश्यकता होती है। परिपथ को फिर से चालू करने तक, सबके काम बन्द हो जाते हैं, जिससे समय नष्ट होता है, और उत्पादन को हानि पहुँचती है।

साधारणतया, जब परिपथ, लघुपरिपथन अथवा अति भार के कारण क्षत हो जाता है, तब कर्मचारियों को कठिनाई का कारण ज्ञात रहता है। यदि कठिनाई उत्पन्न करने वाली मोटर विशेष को, वियुजित कर दिया जाय, तो शक्ति के चालू होने पर अन्य सभी मशीने पूर्ववत काम करने लगेंगी। इसलिये औद्योगिक संस्थायें, ज्वाल के स्थान पर स्वयंक्रिय स्विच का प्रयोग करती हैं। इस अवस्था में, फ़ोरमैन (Foreman) दोषी सज्जा को लाइन से वियुजित करा कर स्विच को बन्द कर देगा और शेष परिपथ तुरंत ही प्रवर्तन करने लगेगा।

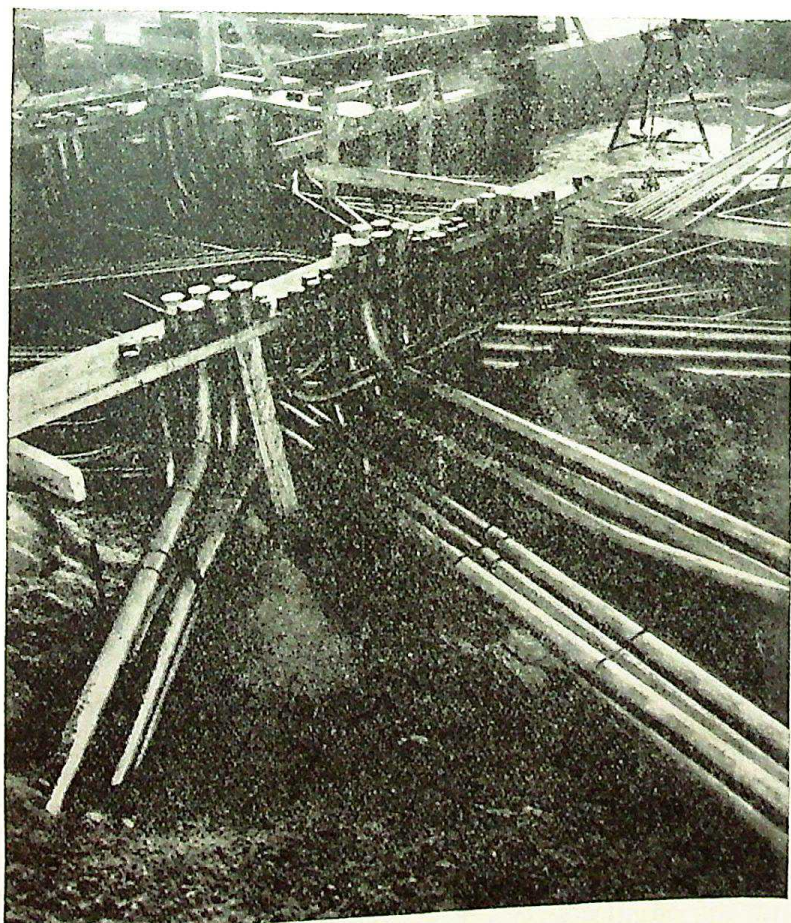
राष्ट्रीय विद्युत संहिता (The National Electricity Rules)

हमारे देश में तन्तुकन व्यवहार के लिये, सामान्यत:, भारतीय विद्युत अधिनियमों (Indian Electricity Rules) तथा I.E.E. (England) के अधिनियमों का पालन किया जाता है। इन संहिताओं में, विभिन्न अवस्थाओं में सुरक्षित व्यवहार के लिये न्यूनतम दशाओं का वर्णन किया गया है, जिससे विद्युत कारणों से आग लगने तथा व्यक्तिगत चोट के भय, कम से कम हो जाएँ। प्रत्येक इंजीनियर को जो तन्तुकन नीति का निश्चय करने का उत्तरदायी होता है, यह प्रपत्र सावधानीपूर्वक अध्ययन करना चाहिये।

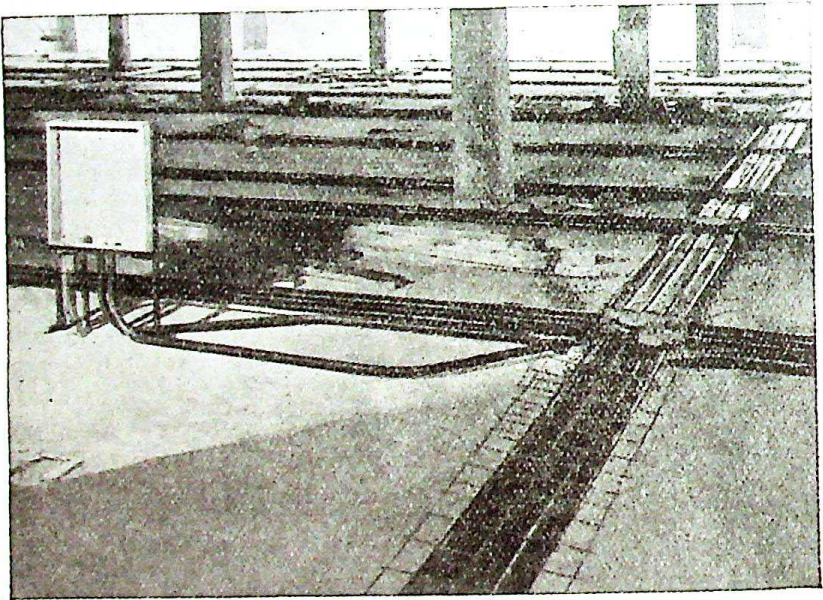
ये संहितायें, सामान्य अभिकल्पन मूलतत्वों को निर्दिष्ट नहीं करतीं, वरन् तन्तुकन में केवल सुरक्षित व्यवहार को ही देशित करती हैं। नियमानुसार, इनका पालन करना आवश्यक है।

तन्तुकन की विधियाँ (Methods of Wiring)

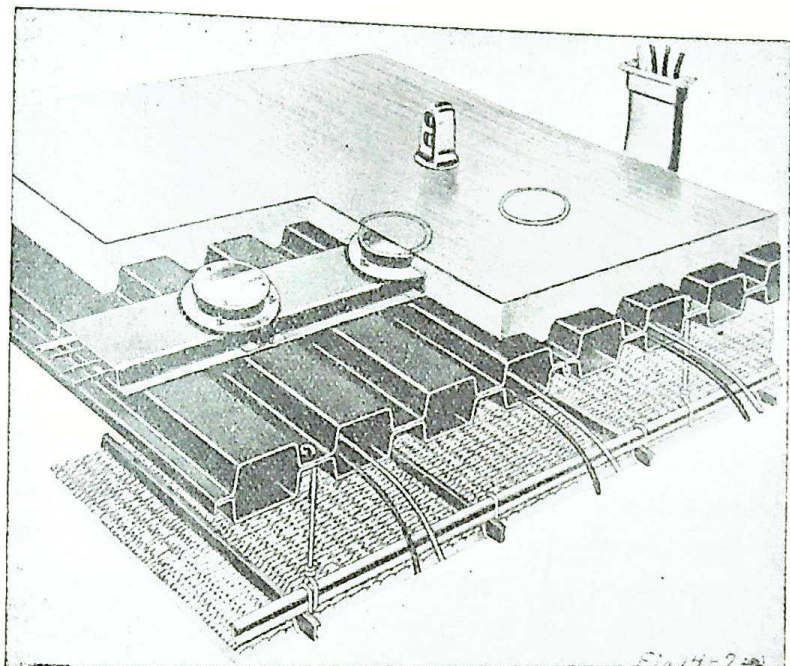
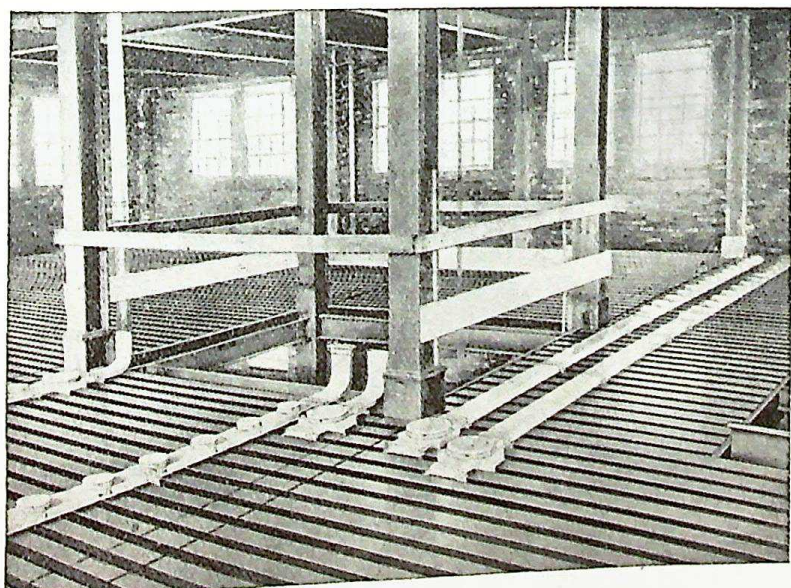
अधिनियमों के अनुसार, भवनों में विद्युत संवाहकों के अधिष्ठापन की अनेक विधियां अनुमोदित हैं। अतः, उनमें से ही किसी एक को छाँटना होगा।

औद्योगिक चर्या के लिये, तन्तुकन की सर्वाधिक लोकप्रिय विधि, नलकी तन्तुकन (Conduit Wiring) कहलाती है। इस विधि में तारों को, इस्पात की नलकियों के अन्दर रक्खा जाता है। यह नलकी, इन तारों को क्षत होने से बचाती है, और साथ ही साथ नलकी के अन्दर लघु-परिपथन हो जाने पर, भवन को आग से बचाती है। विद्युत तन्तुकन की, वस्तुतः संतोषप्रद विधियों

चित्र 19-4 : फ़र्श के नीचे नलकी अधिष्ठापन—कंक्रीट डालने से पहले

में से यह विधि सबसे सस्ती होती है। परन्तु इसमें आनम्यता नहीं होती क्योंकि भार को हटा कर दूसरी जगह ले जाने पर, नलकियों को पूर्णतया उखाड़कर फिर दूसरी स्थिति में लगाना होता है। इसका दूसरा अलाभ यह है, कि यदि इन्हें फ़र्श पर लगाया जाए, तो आने जाने के रास्तों में बाधक होती है; और यदि छत पर लगाई जाय तो भद्दी लगती है, और प्रभासन में बाधक होती है (यदि सावधानी पूर्वक योजना न बनाई गई हो)। आनम्य नलकियों का प्रयोग, केवल, दृढ़ नलकी से अलग-अलग मशीनों के युजन करने तक ही सीमित है।

इन आपत्तियों के कारण, बहुत से आधुनिक भवनों में नलकियों को फ़र्श के अन्दर इस प्रकार लगाया जाता है कि नलकी के मुख से फ़र्श का कोई भाग 5 या 6 फ़ीट से अधिक दूरी पर न हो। यद्यपि यह तंत्र बहुत आनम्य होता है, तथापि, यह बहुत मँहगा होता है, और केवल नये औद्योगिक भवनों के निर्माण के समय ही इसे उचित ठहराया जा सकता है।

चित्र 19-5 : **अधिष्ठापित होता हुआ एक फर्श के नीचे दरी तंत्र**

आजकल कोशावान-इस्पात फ़र्श (Cellular Steel Floor) भी बनाये जाते हैं, जो न केवल फ़र्श की संरचना का आधार ही प्रस्तुत करते हैं; वरन् विद्युत तन्तुकन, हवा, गैस तथा पानी के नलों के लिये भी रास्तों का प्रावधान करते हैं। इस प्ररूप के फ़र्श, भवन की संरचना का एक अंग होते हैं; और प्रयोग-शाला तथा औद्योगिक भवनों के लिये आदर्श हैं। चित्र 19-5 में, एक ऐसे फ़र्श की बनावट दिखाई गई है। इस प्रकार की तन्तुकन योजना में, ऐसा

विन्यास किया जा सकता है कि फ़र्श का कोई भी भाग, विद्युत चर्या की स्थिति से, एक फुट से अधिक दूर न हो।

चित्र 19-6 : कोशावान (Cellular) इस्पात फ़र्श का सेक्शन काटा हुआ चित्र

चित्र 19-7 : कोशावान इस्पात फ़र्श का अधिष्ठापन कंक्रीट डालने के पहले

बहुत से निर्माता, एक दूसरे तंत्र का प्रयोग करते हैं, जिन्हें बस-पथ (Bus-ways) कहते हैं। इनमें, मोटी बसबारों (Bus-bars) को इस्पात अथवा अल्यूमीनियम की दरी (Duct) में समावृत रखते हैं, और ये पूर्वरचित (Pre-fabricated) रूप में उपलब्ध होते हैं। दरी में नियमित दूरी के बाद खुले स्थानों का प्रावधान होता है, जिनमें से, अनुमोदित रक्षण युक्तियों सहित स्थानीय प्राशकों (Feeders) को शक्ति प्रदाय किया जा सकता है। क्योंकि बस-पथ पूर्व रथित प्रभागों में उपलब्ध होते हैं, जिन्हें अधिष्ठापन में युजित कर दिया जाता है; इसलिये एकत्रण लाइन अथवा उत्पादन मशीनों के विस्थापित होने पर इन प्रभागों को उखाड़ कर नई स्थिति में लगाना कठिन नहीं होता। बहुत से अधिष्ठापनों में यह तंत्र, नलकी की अपेक्षा अधिक मँहगा होने पर भी अधिक लाभप्रद होता है।

अस्थायी अथवा छोटे अधिष्ठापनों के लिये कवचित केबिलों (Armoured Cables) का भी प्रयोग किया जाता है। किन्तु यह, सामान्यतः, मध्यम तथा बड़े औद्योगिक अधिष्ठापनों के लिये प्रयोग नहीं किया जाता।

यद्यपि खुला तन्तुकन, औद्योगिक भवनों में पूर्णतया वर्जित नहीं होता, तब भी अस्थायी निर्माण कार्य के अतिरिक्त, इसे कभी भी ठीक नहीं समझा जाता। अस्थायी कार्य के लिये भी जो इंजीनियर इस प्रकार के तन्तुकन का अनुमोदन करता है, वह पर्याप्त उत्तरदायित्व का भार लेता है, क्योंकि अस्थायी निर्माण में आग लगने का भय तथा तन्तुकन के क्षत होने की संभावना बहुत अधिक होती है।

सारांश (Summary)

विद्युत विभाजन तन्त्र का मूल्य, सामान्यतः, औद्योगिक अधिष्ठापन के कुल मूल्य का 2 से 10 प्रतिशत तक ही होता है। साथ ही, संयंत्र के संतोषप्रद प्रवर्तन पर इसका बहुत अधिक प्रभाव होता है; इसलिये सर्वश्रेष्ठ तंत्र का उपयोग करना ही उचित है। उपलब्ध शक्ति प्रभव के विषय में, विद्युत कम्पनी के इंजीनियरों की सलाह लेनी चाहिये। संभावी विस्तार तथा औद्योगिक कार्यक्रम में परिवर्तन की पूर्व योजना बनाकर, यथा संभव सर्वश्रेष्ठ तन्त्र का उपयोग करना चाहिये।

समस्यायें :

1. 100 वाट के 10 दीपों को 220 वोल्ट एकीफ़ेज़ प्रभव से प्रदाय कराना है। राष्ट्रीय विद्युत संहिता के आधार पर तार का आकार निश्चित कीजिये।

2. यदि उपर्युक्त समस्या में, दीप, नियंत्रक पट से 150 फ़ीट की दूरी पर स्थित हो तो वोल्टता पात कितना होगा? क्या यह संतोषप्रद रहेगा? किस आकार का तार प्रयोग करना चाहिये?

3. उद्योग के मुख्य भवन से 500 फ़ीट की दूरी पर स्थित, एक छोटे एकत्रण संयंत्र में उत्ताप दीपों द्वारा प्रभासन के लिये, 2 कि० वा० शक्ति की आवश्यकता है। मुख्य भवन में 230/400 वोल्ट, त्रिफ़ेज़, चार तार शक्ति प्रदाय उपलब्ध है। इस भार को किस प्रकार प्रदाय कीजिएगा। यदि भार 10 कि० वा० का हो, तब भी क्या आप यही तंत्र उपयोग कीजिएगा? कारण देकर स्पष्ट कीजिए।

4. एक औद्योगिक भवन के दोनों तल्लों को, एक 400 फ़ीट लम्बी, 120/240 वोल्ट एकीफ़ेज़, त्रितार लाइन द्वारा प्रदाय किया जाता है। तार 8 नम्बर *S.W.G.* है। दुतल्ले पर भार 3 *KVA* का है, और इसे लाइन के एक पार्श्व से प्रदाय किया जाता है। निचले तल्ले पर 2 *KVA* का भार है, जिसे दूसरे पार्श्व से प्रदाय किया जाता है। तीनों प्राशन तारों में धारा निकालिये; और दोनों तल्लों में अलग अलग प्रदत्त वोल्टता निकालिये। प्रभव वोल्टता 120/240 वोल्ट है।

5. शक्ति प्रभव से 600 फ़ीट दूर, एक नये संयंत्र भवन में, दीपों तथा छोटी-छोटी मोटरों के 10 *KVA* के भार को प्रदाय करना है। इस प्रभव पर उपलब्ध शक्ति 230 वोल्ट त्रिफ़ेज़, त्रितार है। इस भवन को एकीफ़ेज़ अथवा त्रिफ़ेज़, किससे, प्रदाय करना अच्छा रहेगा?

6. संयंत्र से 500 गज़ दूर, एक नहर पर स्थित एक पम्प के लिये, एक 50 *H.P.* के मोटर की आवश्यकता है। संयंत्र के लिये शक्ति प्रदाय, 11000 वोल्ट त्रिफ़ेज़ है, जिसे 230/400 वोल्ट त्रिफ़ेज़, 4 तार पर अवक्रमित किया जाता है। यदि मोटर को 400 वोल्ट पर प्रदाय करना हो, तो मोटर अवसानों पर न्यूनतम 380 वोल्ट की वोल्टता संधारण करने के लिये, किस आकार के तार की आवश्यकता होगी?

परियोजना समस्यायें (Project Problems)

1. किसी परिचित औद्योगिक कम्पनी के तन्तुकन तंत्र का पुन: अभिकल्पन कीजिये।

2. एक बड़ा एकतल्ला भवन उपयोग के लिये उपलब्ध है। यह चार बराबर भागों में विभाजित है, जो प्रत्येक $100' \times 150'$ क्षेत्रफल का है। शक्ति प्रदाय 2300 वोल्ट त्रिफ़ेज़ है। विधायन के अनुसार *D* प्रभाग कच्चे माल के संग्रह के लिये है। इसमें प्रभासन के लिये 15 कि० वा०, तथा छोटी छोटी मोटरों के लिये 5 कि० वा० की आवश्यकता है। *C* प्रभाग, प्रमुख विधायन स्थान है। इसमें प्रभासन के लिये, 30 कि० वा० तथा विधायन मशीनों (मध्यम आकार की प्ररोचन मोटर) के लिये 200 कि० वा० की आवश्यकता है। *B* प्रभाग में अंतिम विधायन तथा अर्धएकत्रण (Sub-assembly) होता है। इसमें

प्रभासन के लिये 30 कि० वा० तथा मध्यम और छोटी मोटरों के लिये 100 कि० वा० की आवश्यकता है। *A* प्रभाग में अंतिम एकत्रण, तथा बाँधने और बाहर भेजने का कार्य होता है। इसमें प्रभासन के लिये 20 कि० वा० और शक्ति के लिये 50 कि० वा० की आवश्यकता हैं, जिसमें 25 कि० वा० एक भट्ठी के लिये है, जो माल को अन्त में सुखाने के काम में लाई जाती है। इसके लिये शक्ति प्रदाय तंत्र का, सबसे संतोषप्रद तथा अल्पतम मूल्य का एक अभिस्ताव बनाइये।

सहायक अध्ययन के लिये सुझाव

Electric Power Distribution for Industrial Plants, Bulletin of the American Institute of Electrical Engineers.

National Electrical Code of the National Board of Fire Underwriters, 1947. 85 John St., New York or 222 West Adams St., Chicago.

Tarboux, J. G., *Introduction to Electric Power Systems*. Scranton: International Textbook Company, 1944.

Whitehorne, Earl, *Electrical Wiring Specifications*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc., 1941.

बीसवाँ अध्याय

विद्युत शक्ति–आर्थिक समस्याएँ और संधारण

(ELECTRIC POWER–ECONOMICS AND MAINTENANCE)

विद्युत शक्ति के मूल्य के अंशक

विद्युत कम्पनी अथवा औद्योगिक संयंत्रों द्वारा जनित शक्ति के मूल्य के आधारभूत अंशक एक ही हैं :—ईंधन, मज़दूरी, विनियोग मूल्य (Investment Cost) तथा देखभाल। इनके सापेक्षिक परिमाण, जनन की विभिन्न परिस्थितियों में विभिन्न होते हैं। ईंधन का मूल्य तो, सामान्यतः, ठीक-ठीक निर्धारित होता है ; पर स्नेहन (Lubrication), [जो प्रवर्तन का एक मुख्य अंशक है], का मूल्य ऐसा नहीं किया जा सकता। जल विद्युत संयंत्रों में ईंधन का मूल्य छोड़ दिया जाता है, किन्तु विनियोग मूल्य उतना ही बढ़ जाता है। विशेषतया, औद्योगिक संयंत्रों में विनियोग मूल्य का ठीक-ठीक आँकना अति कठिन होता है। उसी प्रकार श्रम मूल्य का निश्चय करना भी कठिन होता है, जहाँ पर प्रवर्तन तथा संधारण कार्यकर्त्ता, शक्ति संयंत्र तथा साधारण संयंत्र प्रवर्तन दोनों पर ही कार्य करते हैं। चूँकि संधारण मूल्य आस्थगित (Deferred) होते हैं ; इसलिये पहले कुछ वर्षों का प्रवर्तन, औसत संधारण मूल्य को ठीक-ठीक नहीं दे पायगा। इनमें से प्रत्येक पर अलग-अलग विचार किया जायगा, और तब कुछ ऐसी प्रवर्तन विधियों का पर्यालोचन किया जायगा, जो इन मूल्यों को अल्पतम रखने में सहायक होंगी।

ईंधन मूल्य (Fuel Costs)

जल विद्युत के अतिरिक्त सभी में ईंधन का मूल्य बहुत महत्वपूर्ण होता है। प्रवर्तन की दृष्टि से, संभवतया, यह सबसे महत्वपूर्ण है, क्योंकि अधिकतम दक्षता बनाये रखने से, यह मूल्य अल्पतम रक्खा जा सकता है। यह कहा जा सकता है, कि ठीक माप जोख, मितव्ययता की पहली सीढ़ी है। इसलिये ईंधन का एकक मूल्य, सप्ताह तथा महीने के आधार पर जानना अत्यन्त महत्वपूर्ण है। इसके ज्ञात रहने पर, यह निश्चय करना संभव होता है, कि प्रवर्तन दक्षता बढ़ रही है, अथवा घट रही है। इस प्रकार विभिन्न प्रवर्तन कार्य प्रणालियों की व्याख्या करना संभव हो सकता है।

जहाँ विद्युत शक्ति, उपोत्पाद (By-product) के रूप में जनित की जाती है ; (जैसे उन स्थानों में, जहाँ विधायन के लिये वाष्प की बहुत बड़े परिमाण में आवश्यकता है) वहाँ मूल्य को, विद्युत शक्ति एवं वाष्प में बाँटना आवश्यक

होता है। अधिकतर, यह एक कठिन समस्या होती है; और बहुधा, अनेक महत्वपूर्ण इंजीनियरी निश्चय, सापेक्षिक मूल्यों पर आश्रित होते हैं। इन मूल्यों की संगणना, बिना पर्याप्त सूचना के ही वर्षों पहले कर ली जाती है। वस्तुतः, **परिशुद्ध सूचना, इंजीनियरी निश्चयों की पहली आवश्यकता है।**

श्रम मूल्य (Labour Costs)

शक्ति के मूल्य में, श्रम मूल्य भी एक महत्वपूर्ण अंश है; विशेषकर छोटे औद्योगिक शक्ति संयन्त्रों में। इनमें, छोटी मशीनों के कारण, जन घंटे (Man-Hours) तथा शक्ति प्रदा का अनुपात अधिक होता है; अतः श्रम मूल्य भी अधिक होता है। जब कर्मचारी, शक्ति संयंत्र से बाहर के कर्त्तव्यों के लिये भी उत्तरदायी होते हैं, तब मूल्यों का विभाजन आवश्यक होता है। उचित विभाजन के लिये काफ़ी विभावना (Judgement) की आवश्यकता है। साधारणतया यह कहा जा सकता है; कि थोड़ा अतिरिक्त व्यय कर, सुयोग्य प्रवर्तन कार्यकर्त्ताओं को रखना लाभदायक होता है। ये, अधिक दक्षता तथा संधारण मूल्य में कमी के रूप में अधिक लाभांश वापस देंगे।

विनियोग मूल्य (Investment Costs)

विनियोग मूल्य में, अवमूल्यन दर (Depreciation Rate), विनियोग पर प्रत्याय की दर (Rate of Returns) इत्यादि बहुत सी बातें अन्तर्हित होती हैं, जो सभी, उत्पादन सज्जा की आयु पर आश्रित होने की अपेक्षा, अधिष्ठापन की स्थिरता (Stability) पर अधिक निर्भर करती हैं। जहाँ पर शक्ति संयंत्र उत्पादन भवनों में ही स्थित होते हैं, वहाँ सदैव यह प्रश्न उठता है, कि भवन के प्रभारों (Charges) में से कितना भाग शक्ति संयंत्र के लिये नियोजित किया जाय।

यह धारणा करना काफ़ी युक्ति संगत है, कि विद्युत सज्जा की सामान्य आयु 20 वर्ष की होगी; यद्यपि बहुत सी सज्जा 30, 40 वर्षों के बाद अब भी कार्यरत है। साधारणतया सज्जा की कार्यशील आयु उतनी अधिक नहीं होती, जितनी कि 'घिसने के आधार' पर समझी जा सकती है। अतः, विनियोग मूल्यों के निश्चय करने में कार्यशील आयु ही अधिक महत्व की होती है। उदाहरणार्थ, औद्योगिक संयंत्र में, अधिष्ठापित शक्ति संयंत्र का मूल्य 50,00000 रुपये हो सकता है। यदि औद्योगिक संयंत्र 5 वर्ष के बाद बंद हो जाता है, तो शक्ति संयंत्र का मूल्य 500,000 रुपये से भी कम हो सकता है। इस प्रकार 20% का अवमूल्यन प्रभार मान लेना भी उचित हो सकता था। अधिक स्थायी उद्योगों को छोड़कर, औद्योगिक संयंत्र की आगणित (Estimated) आयु को 10 वर्ष से अधिक मानना, शायद ही कभी उचित हो। विद्युत कम्पनी के

लिये यह माना जा सकता है, कि शक्ति की आवश्यकता, एक न एक कारखाने को अवश्य ही होती रहेगी। अतः, सापेक्षतया लम्बी संयंत्र आयु, तथा अल्प अवमूल्यन प्रभारों की धारणा करना उचित रहेगा।

विनियोग पर प्रत्याय की दर भी, संयन्त्र की कार्यशील आयु के रूप में परावर्तित होती है। इसे कभी-कभी व्याज अथवा लाभ भी कहा जाता है। प्रत्याय का लाभ वाला भाग, हानि के भय का समकरण करने के लिये होता है। कम स्थायी उद्योगों में, संभावी आयु के अल्प होने के कारण, अधिक हानि का भय बना रहता है। इसलिये विनियोग पर 6 से 10 प्रतिशत तक की प्रत्याय दर उचित ठहराई जा सकती है। इसे 10% वार्षिक-अवमूल्यन प्रभार के साथ जोड़ने पर, वार्षिक विनियोग मूल्य प्रारम्भिक विनियोग का 15 से 20 प्रतिशत तक हो जाता है। 20 या अधिक वर्षों में, स्थायित्व प्राप्त कर लेने वाले उद्योग में, अनुभव के आधार पर इन प्रभारों को कम किया जा सकता है।

वाष्प-जनन संयंत्रों में, बॉयलर (Boiler), टर्बाइन (Turbine), जनित्रों, स्विचपटों (Switch-board) तथा आवश्यक तन्तुकन सहित अन्य सहायक मशीनों इत्यादि का मूल्य भी सम्मिलित होता है। साथ ही साथ, भवन तथा भूमि का मूल्य भी सम्मिलित कर लेना चाहिये।

देखभाल (Maintenance)

नये अधिष्ठापन के संभावी मूल्य को आगणित करने में, देखभाल के मूल्य का निश्चय करना सबसे कठिन होता है। यदि एक ऐसी ही सज्जा, 10 या इससे अधिक वर्षों से कार्यशील हो; और उसके मूल्य का ठीक-ठीक लेखा रक्खा गया हो तथा आगणन करने वाले इंजीनियर को उपलब्ध हो, तो एक युक्तिसंगत परिशुद्ध निश्चायन की आशा की जा सकती है। परन्तु ऐसी आदर्श परिस्थितियाँ नहीं पाई जातीं।

प्रवर्तन संधारण, सामान्यतः, पूर्व निश्चित आगणन से अधिक ही हो जाता है; और इसलिये इसका आगणन करते समय, आशावादी होने की अपेक्षा निराशावादी होना ही बुद्धिमत्ता होगी। औद्योगिक शक्ति संयंत्रों में तो यह विशेषकर सत्य है; क्योंकि उद्योग का कार्य वस्तु निर्माण है, न कि शक्ति उत्पादन। इसलिये शक्ति संयंत्र की संधारण समयावलि (Schedule), साधारणतया औद्योगिक संयंत्र की उत्पादन समयावलि के सहायक के ही रूप में होती है। इसके उचित होने पर भी इस कथन की सत्यता कम नहीं होती; और न वास्तविक संधारण मूल्य में कमी होती है।

उपर्युक्त बातों का विचार, एक सावधानी से संगठित किये जाने वाले देखभाल के कार्यक्रम के महत्व पर ज़ोर देता है। संधारण व्यय, शक्ति के कुल मूल्य का केवल अल्पांश ही होता है; किन्तु इसका औद्योगिक संयंत्र की मितव्ययिता

पर बहुत बड़ा प्रभाव हो सकता है, क्योंकि इसके द्वारा एक अनवरत शक्ति प्रदाय का आश्वासन मिलता है।

शक्ति उत्पादन सज्जा (Power Generation Equipment)

उत्पादन अथवा प्रवर्तन इंजीनियर के दृष्टिकोण से, विद्युत उत्पादन सज्जा का सबसे महत्वपूर्ण भाग आद्य चालक है, जो इस पुस्तक के बाहर का विषय है। औद्योगिक संयंत्रों में ये आद्य चालक, सामान्यतः, वाष्प टर्बाइन अथवा डीजल एंजिन होते हैं। टर्बाइन, अति उच्च वेग की मशीन है, जबकि डीज़ल एंजिन, स्वभावतः, अल्प वेग का होता है। वेग का यह अन्तर, इनसे युजित विद्युत जनित्रों के आकार पर काफ़ी प्रभाव डालता है। किन्तु दोनों ही प्रकार के जनित्रों से, अल्पतम देखभाल पर भी, कई वर्षों की निर्विघ्न सेवा की आशा की जा सकती है; यदि उनका उपयोग बुद्धिमत्ता पूर्वक किया जाय।

लगभग सभी विद्युत जनित्र 50 चक्रीय आवर्तित्र होंगे; क्योंकि इस देश में 50 चक्रीय वारंवारता को प्रमाणिक माना गया है। कुछ छोटे संयंत्र अ० धा० के भी होते हैं, परन्तु धीरे-धीरे ये कम होते जा रहे हैं। विभाजन तंत्र, सामान्यतः, उन्नीसवें अध्याय में पर्यालोचित विभाजन तंत्रों के समान ही होगा। अ० धा० अथवा प्र० धा० शक्ति तंत्र, शक्ति बस को प्रदाय करने वाले जनित्र परिपथ त्रोटक (Circuit Breakers) और शक्ति संयंत्र की सहायक मशीनों को प्रदाय करने वाले विभाजन त्रोटकों के अतिरिक्त, समान ही होते हैं।

क्रीत शक्ति और निर्मित शक्ति की तुलना (Purchased Power vs. Manufactured Power) : विद्युत शक्ति उत्पादन भी, अन्य निर्माण विधायनों के समान ही एक विशिष्ठ व्यापार है। इसलिये यह आश्चर्यजनक नहीं होगा, यदि अपनी योग्यता के कारण चुने गये औद्योगिक विधायनों के अधिकारी वर्ग, शक्ति उत्पादन के व्यापार की विशेष चालों से परिचित न हों। साथ ही, शक्ति उत्पादन के कार्यक्रम की देखभाल के उत्तरदायित्व संभालने के कारण, उनके औद्योगिक कार्यक्रम के देखभाल की दक्षता में बाधा होगी, क्योंकि वे पहले उत्तरदायित्व से पूर्णतया परिचित न होंगे। इस दृष्टिकोण से क्रीत शक्ति का विश्वसनीय प्रदाय, स्वयं उत्पादित शक्ति की तुलना में अधिमान्य होगा; क्योंकि तब वे अपने ध्यान को मुख्य कार्य पर लगा सकेंगे।

विनियोग मूल्य के दृष्टिकोण से भी क्रीत शक्ति ही अधिमान्य होगी। शक्ति संयंत्र का मूल्य प्रति किलोवाट क्षमता के लिये 500 से 1000 रुपये तक होगा, जब कि क्रीत शक्ति के उपस्थात्र का मूल्य केवल 50 से 100 रुपये प्रति किलोवाट होगा। अधिकांश औद्योगिक परियोजनाओं के व्यय में यह कमी बहुत महत्वपूर्ण होगी। वे इस धन को ऐसी जगह लगा सकेंगे, जहाँ उन्हें शक्ति उत्पादन संयंत्र की तुलना में अधिक प्रत्याय होने की संभावना

होगी। इसलिये विनियोग की दृष्टि से, क्रीत शक्ति ही अधिक आकर्षक होती है।

क्रीत शक्ति का दूसरा लाभ यह भी है, कि शक्ति संयंत्र, निर्माण संयंत्र के विस्तार में बाधा पहुँचा सकता है। जहाँ पर विस्तार के लिये पर्याप्त स्थान उपलब्ध न हो, वहाँ पर यह विशेष रूप से सत्य है।

क्रीत शक्ति के इन लाभों के विरुद्ध, निर्माण विधायनों में ऐसी परिस्थितियाँ भी आ जाती हैं, जिनमें शक्ति का उपोत्पाद के रूप में उत्पादन किया जा सकता है। ऐसी अवस्था में, औद्योगिक कम्पनी, शक्ति को स्वयं उत्पादन के मूल्य से अधिक पर नहीं ले पाएगी। जहाँ अधिक विधायन वाष्प की आवश्यकता होती है, वहाँ, यही परिस्थिति होती है। यहाँ उच्च दबाव अथवा ब्लीडर टर्बाइन के द्वारा, शक्ति उत्पादन की जा सकती है; जिनको उच्च दबाव के बॉयलरों द्वारा प्रदाय किया जाता है, और वे, विधायन वाष्प लाइनों में निःशेसन करती हैं। अन्य दशाओं में क्षेप्य पदार्थ (Waste Product), ईंधन के रूप में प्रयोग किये जा सकते हैं। खरीदने अथवा स्वयं उत्पादन करने का निश्चय, सावधानी पूर्वक किये हुए विस्तृत अध्ययन के आधार पर करना चाहिये।

निवारक संधारण (Preventive Maintenance)

विद्युत सज्जा का संधारण, अन्य सज्जा की संधारण समस्यायों के मूलभूत सिद्धान्तों से भिन्न नहीं होता। यह ज्ञात करने के लिये, कि कोई अवनति (Deterioration) तो नहीं हुई, अथवा किसी मरम्मत अथवा व्यवस्थापन की आवश्यकता तो नहीं है, नियमित जाँच पड़ताल की आवश्यकता है।

विद्युत मोटरों के पर्यालोचन में, विद्युत सज्जा के बहुत कम संधारण व्यय का उल्लेख किया गया था। इसलिये कभी कभी यह मान लिया जाता है, कि उनकी जाँच की आवश्यकता ही नहीं है। यह धारणा ठीक नहीं। उचित संधारण समयावलि आवश्यक है।

जहाँ पर भार अधिक होता है, और मोटर काफ़ी गरम हो जाते हैं; वहाँ विसंवाहन का वाष्पशील (Volatile) पदार्थ पक जाता है, जिससे विसंवाहन भुरभुरा हो जाता है। इसलिये यह आवश्यक है, कि इस वाष्पशील पदार्थ को समय समय पर, विसंवाहन वार्निश के नये लेपों से पुनः स्थापित करते रहना चाहिये। इस उपचार की वारंवारता प्रवर्तन तापमान पर निर्भर करेगी, साल में 2 बार से लेकर 5 साल में एक बार तक।

अ० धा० मोटरों की अधिकांश देखभाल व्यत्ययक तथा कूर्चों पर ही केन्द्रित होती है। व्यत्ययक को चिकना तथा स्वच्छ रखना, अभ्रक का उचित न्यूनकाट (Under-cut), उचित कूर्च दबाव का संधारण, तथा कूर्च तल को चिकना और स्वच्छ रखना आवश्यक है।

संधारण कार्यक्रम का महत्वपूर्ण भाग, जाँच तथा दैनिक संधारण प्रवर्तन की नियमित समयावलि की स्थापना करना तथा उसका ठीक ठीक अनुसरण करना है। ऐसा करने से, उत्पादन में, क्रांतिक काल की अवस्था में, असफलता होना संभावी नहीं रहेगा। असफल होने के बाद मशीनों के पुनर्निर्माण करने की अपेक्षा, निवारक संधारण अधिक अच्छा है।

अधिकतम अभियाचन प्रभार (Maximum Demand Charge)

अपने प्रत्येक ग्राहक की अधिकतम शक्ति की आवश्यकता को संतोषप्रद रूप से संतुष्ट करने के लिये, विद्युत कम्पनी को पर्याप्त संयंत्र, उपस्थात्र तथा शक्ति लाइनों के ऊपर काफ़ी विनियोग करना पड़ता है। चूँकि शक्ति कम्पनी के लिये, यह मूल्य, उपभुक्त ऊर्जा (Consumed Energy) के अनुपात में नहीं होता, इसलिये अधिकांश कम्पनियाँ इसको पूरा करने में विशेष प्रभार लगाती हैं। यह प्रभार, ग्राहक के अधिकतम भार अथवा माँग पर निर्भर करता है। अधिकतम माँग एक मीटर द्वारा मापी जाती है, और मूल्य के दूसरे अंशकों के साथ बिल में जोड़ दी जाती है।

अधिकतम माँग की परिभाषा इस प्रकार है : **देयन काल की अवधि में, किसी निर्दिष्ट अल्प काल में (सामान्यतः, 15 मिनट) उच्चतम औसत भार।** इस प्रकार एक बड़ा भार जो केवल 2 मिनट ही रहता हो, अधिकतम माँग में वृद्धि नहीं करेगा, यदि उसी अवधि में औसत भार अधिकतम से कम हो। अधिकतम माँग, किलोवाट अथवा किलो वोल्ट अम्पीयर में आँकी जा सकती है।

बड़े भारों की समयावलि इस प्रकार बना कर, कि वे तब लगाये जाएँ जब अनावश्यक भार न हों; नवोदित इंजीनियर अपनी कम्पनी का काफ़ी रुपया बचा सकता है और अपनी प्रसिद्धि भी बढ़ा सकता है। इस कार्य प्रणाली द्वारा अधिकतम माँग कम हो जाती है, और मासिक शक्ति व्यय भी कम हो जाता है।

उदाहरण : एक औद्योगिक संयत्र, इन शर्तों पर शक्ति खरीदता है : एक मास में 15 मिनट अवधि के औसत अधिकतम माँग का मूल्य 7 रुपये प्रति *KVA* प्रतिमास। वर्तमान अधिकतम माँग 875 *KVA* है, और दिन के आरंभ में ही होती है। यह पाया गया है, कि यदि मोटर, दो समूहों में आधे घंटे के अन्तर पर चलाये जाएँ, तो अधिकतम माँग 700 *KVA* ही रह जाती है। वार्षिक बचत निकालिये ?

समाधान : मासिक बचत $=175\times7=1225$ रु०

वार्षिक बचत $=12\times1225=14700$ रु०

अभ्यास 20-1 : एक बड़ी मिलिंग मशीन को 1 घंटा प्रति मास चलाने का व्यय निकालिये, यदि यह शक्ति लाइन से 10 *KVA* लेती हो। मान

लीजिये कि इसके कारण माँग 10 *KVA* अधिक हो जाती है। ऊर्जा प्रभारों को नगण्य समझ लीजिये।

अभ्यास 20-2 : 3 मिनट के लिये होने वाला 10 *KVA* का भार 15 मिनट अधिकतम माँग में कितनी वृद्धि करेगा ?

शक्ति खंड सुधार (Power Factor Improvemeut)

दिये हुए भार को प्रदाय करने के लिये आवश्यक विद्युत सज्जा धारा के मान पर निर्भर करती है; क्योंकि परिसीमा, साधारणतया, तापन द्वारा निश्चित होती है जो धारा के वर्ग के समानुपात में होती है। इसलिये 100 प्रतिशत शक्ति खंड की तुलना में 80 प्रतिशत खंड पर, उसी भार को प्रदाय करने के लिये, सज्जा में 20 प्रतिशत की वृद्धि करनी होगी। इसलिये अधिकतम माँग, किलोवाट की अपेक्षा *KVA* पर आधारित होती है। किलोवाट पर आधारित होने से, अल्प शक्ति खंड, कम्पनी की शर्तों के अनुसार दण्डनीय होता है अथवा उच्च शक्ति खंड पर बोनस मिलता है।

इसलिये औद्योगिक संयन्त्र के लिये, उच्च शक्ति खंड बनाये रखना काफ़ी महत्वपूर्ण होता है। क्योंकि साधारणतया, अधिकांश शक्ति भार प्ररोचन मोटरों का होता है, जो स्वभावत: अल्प शक्ति खंड पर प्रवर्तन करते हैं; इसलिये यह सदैव एक सरल समस्या नहीं होती। जैसा प्ररोचन मोटर के अध्याय में बताया गया था ; चुम्बकन धारा 90° अनुगामी होती है और मान में लगभग स्थिर रहती है। परन्तु धारा का आदाशक्ति अथवा प्रावस्था संघटक (In phase Component), भार के लक्षण के अनुसार विचरण करता है। अतः यदि प्ररोचन मोटर पर भार कम हो, तो उसका शक्तिखंड भी कम होगा। इसलिये शक्ति खंड का सुधार करने के लिये, पहली आवश्यकता यह देखने की है, कि मशीन, आवश्यकता से बड़ी मोटरों द्वारा नहीं चलाई जाती। यदि प्ररोचन मोटर उचित भार पर प्रवर्तन कर रही हों, तो केवल शक्ति खंड ही नहीं, वरन् दक्षता भी सुधर जायगी। इसलिये किसी विशिष्ठ कार्य को करने के लिये, मोटर का चयन करते समय, यह आशा करनी चाहिये, कि यह सामान्यत:, लगभग पूर्ण भार पर प्रवर्तन करेगी। यदि मोटर को, केवल थोड़े समय के लिये ही (10 मिनट या कम), 150 प्रतिशत अथवा अधिक भार पर भी प्रवर्तन करना हो, तो औसत प्ररोचन मोटर उसे संतोषप्रद रूप से निभा लेगी। बारहवें अध्याय में, प्ररोचन मोटर के वेग-विभ्रमिषा वक्रों से यह पता लगता है, कि ये मोटर थोड़े समय के लिये 200 प्रतिशत अथवा उससे भी अधिक भार पर प्रवर्तन कर सकती हैं।

यद्यपि प्ररोचन मोटरों पर उचित भार लगाना वांछनीय है, तथापि यह सदैव ही समस्या का समाधान नहीं कर पाएगी। प्रदीपन धारा को स्थानीय

रूप से प्रदाय करने के लिये, धारित्रों का अधिष्ठापन बहुधा मितव्ययी होता है; और इस प्रकार शक्ति खंड सुधार भी किया जा सकता है। कभी-कभी इन्हें, उपस्थात्र में एक एकक के रूप में लगाया जाता है। परन्तु इन्हें लाइन के अन्त में अथवा भार केन्द्र (Load Centre) के निकट लगाना अच्छा होता है। प्ररोचन मोटर, प्ररोचन भट्ठी, चाप भट्ठी अथवा अन्य अल्प शक्ति खंड भारों के, ये (धारित्र) जितने ही निकट स्थित होंगे, उतने ही अधिक प्रभावी होंगे।

जब कि एक पम्प अथवा कोई ऐसा ही भार, स्थिर वेग पर अनवरत प्रवर्तन करता हो, तो बहुधा समक्रमिक मोटर का उपयोग करना उचित होगा। यदि मोटर का अभिकल्प ऐसा हो, कि अति प्रदीपन संभव हो, तो यह लाइन से अग्रित धारा लेगी ; और अनुगामी भार का एक अंश तक निष्फलन कर सकेगी।

उदाहरण : एक औद्योगिक संयन्त्र, 400 वोल्ट, त्रिफ़ेज़ लाइन से 150 कि० वा० लेता है। शक्ति खंड 0·7 है।

(a) शक्ति खंड को 0·9 तक लाने के लिये, कितने KVA के धारित्र अपेक्षित होंगे।

(b) यदि स्थैतिक धारित्र के स्थान पर, 50 कि० वा० का एक अतिरिक्त भार, समक्रमिक मोटर द्वारा प्रदाय कराना हो, जो 0·7 अग्रित शक्ति खंड पर प्रवर्तन करती हो ; तो संयन्त्र भार का अन्तिम शक्ति खंड निकालिये।

समाधान : यदि शक्ति खंड कोण θ हो, तो

$$\cos\theta=\frac{KW}{KVA}. \quad \sin\theta=\frac{KVAR}{KVA}.$$

जहाँ $KVAR$ प्रतिकारी (Reactive) KVA है।

(1) $$KVA=\frac{KW}{\cos\theta}=\frac{150}{0\cdot7}=214.$$

(2) 0·7 शक्तिखंड पर $KVAR$,

$$KVAR=214\sin\theta=214\sin 45\cdot5^\circ$$
$$=153.$$

(3) 0·9 शक्तिखंड पर $KVAR=\frac{150}{0\cdot9}\sin(\cos^{-1}0\cdot9)$

$$=\frac{150}{0\cdot9}\sin 26^\circ=73\cdot5.$$

(4) 0·9 शक्तिखंड प्राप्त करने के लिये, निष्फलित किये जानेवाला

$$KVAR=153-73\cdot5=79\cdot5\ KVAR$$

चूँकि धारित्र में धारा लगभग 90° अग्रित होती है, इसलिये 80 KVA के धारित्र इतने ही परिमाण के प्ररोचि $KVAR$ का निष्फलन कर देंगे।

(5) (b) भाग में 50 कि० वा० के अतिरिक्त भार का अग्रित $KVAR$,

$$=\frac{50}{0.7} \sin 45{\cdot}5^\circ = 51 \ KVAR$$

(6) कुल $KVAR$, अनुगामी तथा अग्रित $KVAR$ का अन्तर है।
अत: कुल $KVAR = 153 - 51 = 102$ $KVAR$ अनुगामी।

(7) कुल $KW = 150 + 50 = 200$ $k.w$

$$\therefore \text{ शक्ति खंड} = \cos\left(\tan^{-1}\frac{102}{200}\right) = \cos 27^\circ = 0{\cdot}89 \text{ (अनुगामी)}$$

अभ्यास 20-3 : प्रेरोवन मोटरों का एक समूह 440 वोल्ट त्रिफ़ेज़ शक्ति लाइन से 22 kw लेता है। शक्ति खंड 0·65 पाया गया है। 0·8 शक्ति खंड करने के लिये, कितने KVA के धारित्रों की आवश्यकता होगी ?

अभ्यास 20-4 : एक औद्योगिक संयन्त्र को, अल्प शक्ति खंड के कारण, दंडित किया जा रहा है। वर्तमान कुल भार 0·6 शक्ति खंड पर 250 kw है। एक 75 $H.P$ की प्रेरोवन मोटर, एक कम्प्रेसर को चला रही है। इसकी औसत आदा 0·75 शक्ति खंड (अनुगामी) पर 50 kw है। इसके स्थान पर, 0·7 शक्ति खंड (अग्रित) पर प्रवर्तन करनेवाली एक समक्रमिक मोटर लगाई जा सकती है। क्या इससे शक्ति खंड 0·8 अथवा अधिक तक सुधर जायगा ; जो शक्ति कम्पनी की सामान्य दर के लिये आवश्यक है ?

अभ्यास 20-5 : यदि माँग प्रभार (Demand Charges) का मूल्य 7 रु० प्रति KVA प्रति मास हो, तो अभ्यास 20-3 में प्रयोग किये जानेवाले धारित्रों के कारण वार्षिक बचत क्या होगी ?

अभ्यास 20-6 : यदि अभ्यास 20-4 में दंड, माँग के, KVA प्रभार के रूप में हो, और यदि माँग प्रभार 7 रु० प्रति KVA प्रति मास हो, तो समक्रमिक मोटर को लगाने के लिये, इसके अधिकतम उचित मूल्य का निश्चय कीजिये ? विनियोग पर, अवमूल्यन प्रभार सहित, 18 प्रतिशत की प्रत्याय दर मान लीजिये।

सहायक अध्ययन

Justin, J. D., and Mervine, W. G., *Power Supply Economics*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1934

Morrow, L. W. W., *Electric Power Stations*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1927.

Rogers, P. L., *Power-Factor Economics*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1939.

हिन्दी शब्दावली

Abnormal	अपकृत
Abscissa	भुज, भुजांक
Absolute	निरपेक्ष, परम
Absorb	अवशोषण
Acceleration	त्वरण
Accomplished	निष्पादित
Accurate	परिशुद्ध
Accuracy	परिशुद्धता
Across	आरपार
Adjacent	संलग्न, निकटवर्ती
Adjust	व्यवस्थापन, समायोजन
Adjustable	समायोज्य
Adjustment	व्यवस्थापन
Admittance	प्रवेशिता
Agitation	क्षोभ
Air-foil	वायु पर्ण
Air-gap	वायु विच्छद
Algebraically	बीजीय विधि से
Align	एकरेखण
Allow	अनुमनन
Alloy	मिश्रातु
Alternate	एकान्तरिक
Alternating Current	प्रत्यावर्ती धारा (प्र० धा०)
Alternator	आवर्तित्र
Ammeter	अम्मीटर
Ampere	अम्पीयर
Amplify	प्रवर्धन
Amplified	प्रवर्धित
Amplifier	प्रवर्धक
Amplitude	आयाम
Analogous	सदृश, अनुरूप
Analyse	विश्लेषण
Analysis	विश्लेषण
Angular	कोणिक
Anion	ऋणायन
Anode	उद्वोद
Antenna	एन्टीना
Apparatus	उपकरण
Apparent	आभासी,
Appear	प्रकट

Application	प्रयुक्ति
Appreciable	उपागण्य
Appropriate	उपयुक्त, उचित
Approve	अनुमोदन करना
Approximate	उपसन्न
Approximation	उपसादन
Arbitrary	स्वेच्छ
Arc	चाप
Arc Control Device	चाप नियंत्रण युक्ति
Armature	धात्र
Armoured	कवचित
Arrange	विन्यास करना
Arrangement	विन्यास
Assembly	एकत्रण
Associate	संयवित होना
Assume	मान लीजिये, धारणा करना
Assumption	ध रणा
Assymetry	असंमिति
Attribute	उपारोपण
Audio	श्रव्य
Audion	ऑडियॉन
Automatic	स्वयंक्रिय, आत्मग
Auto-transformer	आत्मग परिवर्तित्र
Auxiliary	सहायक
Available	उपलब्ध, प्राप्य
Average	औसत
Axial	आक्षिक, धुरीय
Axis	अक्ष, धुरी
Back E.m.f.	पश्च विद्युत गामक बल
Background	पृष्ट भूमि
Back Pressure	पश्च दबाव
Baffle	व्यारोध
Balance	संतुलन
Balanced	संतुलित
Bar	दण्ड
Based	आधारित
Basis	आधार
Batch	घान, समूह
Battery	बैटरी, समूहा
Beam	बीम, रश्मि
Bearing	भारु
Ball Bearing	गेंद भारु

Sleeve Bearing	बाहुप भारु
Belt	पट्टा
Belt Conveyor	पट्टी वाहक
Bias	अभिनति
Bill	बिल
Bimettalic	द्विधात्वीय
Blank	निरंक
Block	इष्टका
Blower	धौंकनी
Bolt	बोल्ट (क्रिया—बोल्ट करना)
Bombard	प्रस्फोटन, गोलक्षेपण
Brake	ब्रेक
Braze	ब्रेज़ करना
Brazed	ब्रेजित
Bridge	सेतु, पुल
Bright	दीप्त
Brightness	दीप्ति, चमक
Broadcast	प्रसारण
Brush	कूर्च
Brush holder	कूर्चाधर
Building-up	अप-निर्माण
Bulb	बल्ब
Bulge	वर्धन
Bushing	बुशिंग
By-product	उपोत्पाद
Cage Motor	पन्जर मोटर
Calibration	स्वंकन
Calibrated	स्वंकित
Capacity	धारिता
Capacitance	धारिता
Capacitive	धारि
Capacitor	धारित्र
Cascade	प्रपात
Casing	आवरण
Cast-Iron	ढलाई लोहा
Casting	ढलाई
Cathode	निद्रोद
Cavity	कोटर
Cell	कोशा
Cellular	कोशावान
Centrifugal	केन्द्रापग
Chain	चेन

Characteristic	लक्षण
Ch. Curve	लक्षण वक्र
Charge	प्रभार, आवेश
Charged	आवेशित
Choke Coil	चोक कुंडल
Circuit	परिपथ
Circuit Breaver	परिपथ-त्रोटक
Circular	वर्तुल
Circulate	परिवहन
Clamp	संधर
Clearance	अवकाश
Clockwise	घटीवर्त
Counter Clockwise	प्रतिवर्ती
Closed	संवृत
Coating	लेपन
Coefficient	गुणक
Coercive force	प्रसाहि बल
Coil	कुंडल
Coincident	संपाती
Combine	संयोजन
Combustible	ज्वलनशील
Commercial	वाणिज्यिक
Commutate	व्यत्ययन
Commutation	व्यत्ययन
Commutator	व्यत्ययक
Compact	संविद्
Compare	तुलनाकरण
Compensate	समकरण
Compensator	समकारक
Complex	जटिल
Complimentary	पूरक
Component	संघटक
Compound Generator	मिश्र जनित्र
Compress	संपीड़न
Compresser	कम्प्रेसर
Compute	संगणन
Concentrate	सकेन्द्रण
Concentric	संकेन्द्री
Concept	अवधारणा
Condenser	धारित्र
Conductor	संवाहक
Conductance	संवाहिता
Conductivity	संवाहकता

Conduit	नलकी
Conform	अनुसार होना
Connect	युजन करना
Connection	युजन
Conservation of Energy	ऊर्जा अवनाशिता
Consistent	संगत
Contact	संस्पर्श (संज्ञा–संस्पर्शक)
Continuous	संतत, अनवरत
Contribute	अंशदान
Control	नियंत्रण
Controller	नियंत्रक
Convection	संवहन
Conversion	रूपान्तरण
Conveyor	वाहक
Cooling	शीतन
Coordinate	निर्देशांक
Core	आन्तरक
Correlation	सहसम्बन्ध
Corresponding	तत्सम्बन्धी
Corrosive	संक्षारी
Coupling	युग्मन
Coulomb	कूलम्ब
Covering	आवरण
Crane	क्रेन
Critical	क्रांतिक
Crossection	अनुप्रस्थ काट
Crossectional Area	अनुप्रस्थ छेदीय क्षेत्रफल
Cumulative	संचयी
Current	धारा
Direct Current	अव्यवहित धारा ; अ० धा०
Alternating Current	प्रत्यावर्ती धारा ; प्र० धा०
Current Carrying Capacity	धारा वाहन धारिता
Cut-off	अपकर्तन, काट देना, बन्द कर देना
Cycle	चक्र
Cyclic	चक्रीय
Damage	क्षति
Data	न्यास
Deflection	व्याकोचन ; विक्षेप
Degree	डिग्री, अंश
Delay	विलंब, देर —ed विलंबित
Deliver	प्रदाय करना —ed प्रदत्त
Demagnetise	विचुम्बकित

Demonstrate	प्रदर्शन
Depreciation Charge	अवमूल्यन प्रभार
Derivative	व्युत्पन्न
Design	प्ररचन, अभिकल्प
Desirable	वांछनीय, अपेक्षित
Detect	उपलम्भन
Develop	विकासन
Deviation	विचलन
Device	युक्ति
Diagonal	विकर्ण
Dial	डायल
Diaphragm	तनुपट
Die-Casting	साँचे की ढलाई
Dielectric	पारद्युतिक
Differential	अवकल
Diffuse	प्रसरण
Dimension	विमा
Disadvantage	अलाभ
Discharge	विप्रभरण, निरावेश
Disconnect	वियुजन
Discussion	पर्यालोचन
Displace	विस्थापन
Dissembly	विकत्रण
Dissipation	निप्रथन
Dissociation	वियवन
Distort	व्याकर्षण
Distribution	विभाजन, वितरण
Disturbance	विक्षोभ
Diversity	विविधता
Double Throw	द्विक्षेप
Drift	अपवहन
Drop	पात
Duct	दरी
Effective Value	प्रभावी मान
Efficiency	दक्षता
Electric, Electricity	विद्युत
Electrify	विद्युतन
Electrification	विद्युत-करण
Electrolysis	विद्युद्दंशन
Electrolyte	विद्युदंश
Electrode	विद्योद
Electromagnetic	विद्युत्-चुम्बकीय

Electro-motive force	विद्युत गामक बल (वि० गा० ब०)	
Electron	इलेक्ट्रॉन	
Electronegative	निद्युतीय	
Electropositive	उद्द्युतीय	
Electrostatic	विद्युत-स्थैतिक	
Element	अंशक	
Elevator	एलीवेटर	
Elimination	निरसन	
Elongation	दीर्घन	
Emission	उत्सारण	
Enamelled	आकाचित	
Enclosed	समावृत	
End-bells	पार्श्व ढक्कन	
Endview	अन्तदृशा	
Energy	ऊर्जा	
Engineer	इंजीनियर	
Equalize	समकरण (-r=समकारक, समकारी)	
Equilibrium	संतुलन	
Equipment	सज्जा	
Equivalent	सम	
Estimate	आगणन, अनुमान करना	
Evaporate	उद्वाष्पन	
Evident	स्पष्ट	
Exception	अपवाद	
Excess	अतिक्रम	
Excite	प्रदीपन	
Exciter	प्रदीपक	
Excitation	प्रदीपन	
Exclusion	अपवर्जन	
Exhaust	निःशेषन (संज्ञा—निःशेषक)	
Expedient	अभ्युपाय	
Expel	निष्कासन	
Experiment	प्रयोग	
Explanation	व्याख्या	
Expression	अभिव्यक्ति	
Extent	विस्तार	-ion विस्तार
Extensive	विस्तृत	
Extraction	निस्सारण	
Extremes	चरम सीमाएँ	
Fault	दोष	-y दोषी
Feature	उल्लक्षण	
Feed	प्राशन	-er प्राशक

Feed Back	प्रति प्राशन
Ferro-magnetic	अयोचुम्बकीय
Field	क्षेत्र
Filament	अंशु
Filter	फ़िल्टर
Fitting	फ़िट करना (संज्ञा—अन्वायुक्ति)
Fixture	अन्वायुक्ति
Flexibility	आनम्यता
Fluorescent Lamp	भ्राशमान दीप
Flux	स्यंद
Flywheel	प्रचक्र
Focus	फ़ोकस
Foil	पर्ण
Force	बल
Form	आकृति
Form wound	आकृति वर्तित
Former	आकारक
Frequency	वारंवारता
Frequency Changer	वारंवारता रूपान्तरक
Friction	घर्षण
Full load	पूर्ण भार
Fundamental	मूलभूत, आधार-भूत
Furnace	भट्ठी
Fuse	ज्वाल
Galvanometer	गैलवेनोमीटर
Gauge	गेज
Gear	गियर -ed गियरित
Generate	जनन -ed जनित
Generator	जनित्र
Gloves	गोलक
Governor	वेग वशित्र
Grade	वर्ग, क्रम, श्रेणी
Grading	वर्गीकरण
Gradient	प्रावण्य
Graph	ग्राफ़
Grounded	भूमित
Ground wire	भूमि तार
Guard wire	रक्षक तार
Hair spring	बाल कमानी
Hardening	घनीकरण
Harmonics	सांध्वनिक

Head of water — जलोत्सेध
Heat — ताप, ऊष्मा — -ing तापन
Heat Treatment — ताप साधन
High Tension — उच्च वोल्टता (H.T=उ० वो०)
Hoist — कर्षक
Homogenous — सामांग
Horizontal — क्षैतिज
Hydraulics — आम्भसी
Hysterisis — मन्दायन

Identical — एकसम
Ignition — उज्ज्वालन
Ignitron — इग्निट्रॉन
Illumination — प्रभासन
Illustrate — निदर्शन — -d निदर्शित
Impedance — अवबाधिता
Impeller — इम्पेलर
Impregnate — व्यापन — -d व्यापित
Impressed voltage — आरोपित वोल्टता
Impulse — प्रणोद
Impulsive Fore — प्रणोदि बल
Incandescent Lamp — उत्ताप दीप
Inclination — अभिनति
Inclined — अभिनत
Indicate — देशित करना — -ion देशन
Induce — प्ररोचन — -d प्ररोचित
    Inductance — प्ररोचिता
    Induction — प्ररोचन
    Inductive — प्ररोचि
Inertia — जड़ता
Input — आदा
Inrush — अंत झपट
Insert — निवेशन — -ed नि`शित
Installation — अधिष्ठापन
Instantaneous — तात्क्षणिक
Instrument — उपकरण — -ation उपकरणन
Insulate — विसंवाहन — -d विसंवाहित
    Insulation — विसंवाहन
    Insulator — विसंवाहक
Integral — अनुकल
Intensity — चंडता
Interaction — अंतर क्रिया
Interference — बाधा

Interlace	अन्तर्वयन
Intermittent	सविराम
Internal	आन्तरिक
Interpole	अन्तर-ध्रुव
Interpose	अन्तरास्थापन
Interpret	निर्वचन
Inverse	प्रतीप
Inversely Proportional	प्रतीपानुपाती
Investment	विनियोग
Ion	अयन
Ionization	अयनन
Ionized	अयनित
Jewelled Bearings	मणिकित भारु
Joint	संधि, संगम
Judgement	निर्णय
Jumper	कूदक
Junction Box	सन्धि बक्स
Justification	औचित्य
Kinetic Energy	गतिज ऊर्जा
Knowledge	ज्ञान
Lag	अनुगामी होना
Laminated	आपट्टित
Laminations	आपट्टिकाएँ
Lap Winding	लैप वर्तन
Lateral	पार्श्व
Lathe	लेथ
Lead	अग्रित होना (संज्ञा–वाहक)
Leading	अग्रित
Leak	च्यवन
Leakage	च्याव
Lens	लेंस
Level Compounded	समतल मिश्रित
Lever	लीवर
Limitation	परिसीमा
Limiting factor	सीमाकारक
Linear	अनुरेखीय
Link	ग्रथन
Linkages	ग्रथ
Load	भार
Load Factor	भार खण्ड

Localization स्थानसीमन
Loop पाशी
Loss हानि
Louvre तिर्यक्काच
Lubricant स्नेहक
Lubricating Oil स्नहक तेल
Lubricate स्नेहन -ionस्नेहन
Lumen ल्यूमेन

Machine मशीन
Magnetic चुम्बकीय
Magnetize चुम्बकन
Magneto चुम्वकि
Magneto-Motive Force चुम्बक गामक बल (चु० गा० ब०)
Magnify विशालन
Magnitude परिमाण
Mains मुख्यक
Maintain संधारण
Mean औसत
Measure माप (क्रिया–मापन)
Mechanical यांत्रिक
Mechanics यांि की
Mechanism प्रक्रिया
Medium माध्यम
Mesh अक्षि
Migration प्रवजन
Mil मिल
Moment घूर्ण
Motion गति
Motor मोटर
Mounted आरोहित
Movement चलन
Mutual Inductance पारस्परिक प्र ेचिता

Negligible नगण्य
Network तन
Neutral न्यूट्रल
Neutralize निष्फलन
Node नोड
Nodal Points नोड बिन्दु
No load भार रहित
Non-sinusoidal अज्यावक्री
Normal सामान्य, अभिलम्ब

Note	आलोकन	-ed आलोकित
Null Method	संतुलन विधि	
Null Point	संतुलन बिन्दु	
Object	वस्तु, पदार्थ, ध्येय	
Objection	आपत्ति	
Observe	अवलोकन	-ed अवलोकित
Observation	अवलोकन	
Operate	प्रवर्तन	
Opposite	विपरीत, अभिमुख	
Order	वर्ग	
Ordinate	कोट्यंक	
Organic	प्रांगारिक	
Orientation	अनुस्थापन	
Orifice	विवर	
Oscillate, Oscillation	दोलन	
Oscillator	दोलक	
Oscillograph	दोलन लेखी	
Oscillogram	दोलन लेख	
Output	प्रदा	
Overcome	अभिभवन	
Over flow	आप्लाव	
Overhead Tank	ऊपरी टंकी	
Overlap	अतिछादित	
Overload	अतिभार	
Packaging	संवेष्टन	
Panel	पट	
Pass	पारण करना	
Peak	शिखर	
Pendulam	पेन्डुलम	
Penetration	बेधन	
Pentode	पंचोद	
Perforated	निच्छिद्रित	
Performance	निष्पादन	
Period	अवधि	
Periphery	परिणाह	
Permeability	अतिवेध्यता	
Phase	प्रावस्था, फ़ेज़	
Phasor	फ़ेज़र	
Phenomenon	घटना	
Pick-up	उन्नयन	
Pilot wire	पाइलट तार	

Piston	पिस्टन	
Pitch	अन्तराल	
Plant	संयन्त्र	
Plate	पट्टिका	
Plot	अंकन	-ted अंकित
Plug	प्लग	
Plunger	मज्जक	
Pointer	देष्टा	
Polarity	ध्रुविता	
Polarized	अभिस्पन्दित	
Pole	ध्रुव, पोल	
Potential	शक्म	
Potential Divider	शक्म विभाजक	
Potentiometer	शक्ममापी	
Power	शक्ति	
Practical	प्रयोगिक, व्यावहारिक	
Precaution	पूर्वाविधान	
Precipitation	निस्सादन	
Precision	सुतथ्यता	
Precision Instrument	सुतथ्य उपकरण	
Prefabricated	पूर्व रचित	
Prefer	अधिमनन	-red अधिमत
Preferable	अधिमान्य	
Prevent	निवारण	-ive निवारक
Press	सं०—प्रेस ; क्रि०—दाबना	
Pressure	दबाव	
Prime-mover	आद्य चालक	
Prism	प्रिज्म	
Procedure	विधि	
Process	विधायन	
Progress	प्रगति	-ive प्रगामी
Project	परियोजना	
Projection	प्रक्षेप	
Propagation	प्रसारण	
Propeller	प्रणोदक	
Proportional	अनुपाती	
Directly Proportional	समानुपाती	
Inversely Proportional	प्रतीपानुपाती	
Protection	संरक्षण	
Protective	संरक्षक	
Provide	प्रावधान करना	
Provision	प्रावधान	
Pulsation	स्पन्दन	

Pulsating	स्पन्दनशील
Pulse	स्पन्द
Pump	पम्प
Punch	पन्च
Punching	पन्चिग
Puncture	बेधन
Purpose	प्रयोजन
Quadrature	चतुष्क
Quantity	राशि
Quick acting	द्रुतकारी
Radial	अरीय
Radiate	विकिरण -or विकिरक
Radian	रेडियन
Radiant Energy	विकीर्ण ऊर्जा
Radio	रेडियो
Random	याद्दच्छिक
Range	विस्तार, परास
Rapid	द्रुत
Rated	क्षमित
Rating	क्षमता
Reactance	प्रतिकारिता
Reaction	प्रतिक्रिया
Reactive	प्रतिकारी
Reading	पाठ्यांक वाचन
Reciprocal	व्युत्क्रम
Reciprocating	पश्चाग्र गति
Recognized	अभिज्ञात
Recommendation	अभिस्ताव
Record	अभिलेखन -ed अभिलिखित
Recording Instrument	अभिलेखी उपकरण
Recover	समुत्थान
Recurring	आवर्ती
Refer	प्रेषण, उल्लेख करना
Reference	प्रष्टि, उल्लेख
Reference Vector	प्रष्टि दिष्ट
Reflection	परावर्तन
Refraction	वर्तन
Refrigerator	प्रशीतक
Regular	नियमित
Regulate	नियमन -ion यमन
Regulator	यामक

Voltage Regulation	वोल्टता यामक
Relative	आपेक्षिक, सापेक्ष
Relay	रिले
Release	उन्मोक
Reluctance	प्रतियास
Remote	दूरस्थ
Remote Control	दूरस्थ नियंत्रण
Repel, Repulsion	प्रतिकर्षण
Replace	प्रतिस्थापन
Represent	निरूपण -ed निरूपित
Residual	अवशेष
Resistance	रोध
Resistivity	रोधिता
Resistor	रोधक
Resonance	अनुनाद
Respond	प्रतिचारण करना
Response	प्रतिचार
Restore	प्रत्यास्थापन
Resultant	परिणामी
Retain	परिधारण
Retentivity	परिधारिता
Reversal	उत्क्रमण
Revolution	परिक्रमण
Rheostat	विचरोधक
Ring	वलय
Ripple	ऊर्मिका
Rivet	संज्ञा–रिवेट ; क्रिया–रिवेट करना
Rolled Steel	वेल्लित इस्पात
Rotate	परिभ्रमण
Rotating Coil	परिभ्रामी कुंडल
Rotor	भ्रमिता
Saturation	अनुवेधन
Scale	मापनी, अनुमाप
Screen	पट, स्क्रीन
Secondary	द्वितीयक
Sensitive	हृष (Sensitivity-हृषता)
Series	माला
Setting	व्यवस्थापन
Shaft	ईषा
Sheet	स्तार
Shield	परिरक्षक
Shift	विर्तन

Short-Circuit	लघु परिपथ (क्रिया–लघुपरिपथन)
Shunt	संज्ञा–पार्श्वायिक ; क्रिया–पार्श्वाहिन
Shunt Generator	पार्श्वायिन जनित्र
Side	पार्श्व
Coil Side	कुंडल पार्श्व
Signal	संज्ञप्ति
Sinusoidal	ज्यावर्ती
Non-sinusoidal	अज्यावर्ती
Sketch	आरूप
Sleeve	बाहुप
Slip	सर्पण
Slip Rings	सर्पण वलय
Slope	ढाल, प्राण्य
Slot	खाँचा
Sludge	अवपंक
Solder	संधा
Soldering Iron	सांधिक लौह
Solenoid	परिनालिका
Source	प्रभव
Source of Supply	विद्युत प्रभव
Space	वरिमा, अन्तराल
Spacers	अन्तरक
Spark	स्फुलिंग
Specific	विशिष्ट
Specifications	विशिष्टतायें, विस्तृत विवरण
Specified	निर्धारित, निर्दिष्ट
Specific Resistance	आपेक्षिक-रोध
Spin	आभ्राम
Spiral	कुन्तल
Splash Proof Motor	छींटा-रक्षित मोटर
Split-phase	विपाटित फ़ेज़
Spring	स्प्रिंग, कमानी
Stability	स्थायित्व
Stabilize	स्थायीकरण
Stack	चय
Standard	प्रमाणिक, प्रमापित
Standardize	प्रमापण -d प्रमापित
Standard Wire Gauge	प्रमाणिक तार गेज
Standstill	निश्चल
Starter	आरम्भक
Starting	आरम्भण
Stationary	स्थावर
Stator	स्थाता

Step-down	अवक्रमण	
Step-up	उपक्रमण	
Stimulate	उद्दीपन	
Storage Cell	संग्रह कोशा	
Strain	विकृति	-ed विकृत
Stray Losses	विक्षिप्त हानियाँ	
Stream	श्रोत	
Stress	प्रतिबल	
Structure	संरचना	
Substation	उपस्थात्र	
Substitute	स्थानापन्न	-ion स्थानापत्ति
Successive	उत्तरोत्तर	
Superpose	अधिरोपण	-d-अधिरोपित
Superposition	अध्यारोपण	
Supply	प्रदाय	
Support	आधार	-ed-आधारित
Surge	उल्लोल	
Susceptible	अनुहृष	
Suspend	लटकाना, निलम्बन	
Suspension	लटकन	
Sweep	अपोहन	
Switch	स्विच	
Symbol	प्रतीक, चिह्न	
Symmetrical	संमितीय	
Synchronism	समक्रमिकता	
Synchronize	समक्रमण,	-d समक्रमित
Synchronous	समक्रमिक	
System	तन्त्र	
Tachometer	टैकोमीटर, गतिमापी	
Tank	टंकी	
Tap	निसूत्रण (संज्ञा–निसूत्रक)	
Tapped	निसूत्रित	
Taper	स्फान	-ed स्फानित
Technique	प्रविधि	
Tendency	प्रवृत्ति	
Tension	तनाव	
Terminal	अवसान	
Thermal	तापीय	
Thermoionic	तापायनी	
Th. Emission	तापायनोद्गिरण	
Thermocouple	तापीय-युग्म	
Throttle	प्ररोध	

Thrust	वितोद	
Side Thrust	पार्श्व वितोद	
Time Scale	काल अनुमाप	
Timer	कालक	
Tip	अणि	
Tone	तान	
Tool	उपकरण	
Torque	विभ्रमिषा	
Trace	अनुरेखण	-ing-अनुरेख
Traction	संकर्षण	
Tractive	संकर्षी	
Transfer	स्थानान्तरण	
Transformation	रूपान्तरण	
Transformer	परिवर्तित्र	
Transition	अन्तर्वर्ती	
Transmit	पारेषण	-ion पारेषण
Transmitter	पारेषक	
Traverse	मालारेखन	
Trigger	ट्रिगर	
Triode	त्रिओद	
Trip	ट्रिप	
Tuned	समस्वरित	
Tuning	समस्वरण	
Turbine	टर्बाइन	
Turn	वर्त	
Type	प्ररूप	
Typical	प्रारूपिक	
Undercut	न्यूनकाट	
Uniform	एकसम	
Unit	एकक, इकाई	
Universal	सार्वत्रिक	
Unload	अवतारण	
Utility	उपयोगिता	
Utilization	उपयोग	
Unsymmetrical	असंमितीय	
Value	मान	
Variable	विचरणशील	
Variation	विचरण	
Vector	दिष्ट	
Velocity	प्रवेग	
Vent	वेंट	

Ventilation	संवातन
Vertical	ऊर्ध्वाधर
Vibration	कम्पन
Vice	वाइस, शिकंजा
Viscosity	श्यानता
Visual	दार्शिक
Visualize	मनसेक्षण
Voltage	वोल्टता
Watt	वाट
Weather-proof	ऋतुसह
Wedge	वेज
Weld	संधान -ed संधानित : -er संधाता
Seam Welding	सीम संधान
Spot Welding	बिन्दु संधान
Windage	वातज
Winding	वर्तन
Wire	तार
Wiring	तन्तुकन
Wound	वर्तित
Wound Rotor Induction Motor	वर्तित भ्रमिता प्ररोचन मोटर

अनुक्रमणिका